

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

LEONARDO HENRIQUE DE OLIVEIRA PAULINO

DESENVOLVIMENTO DE ANDADOR NA FORMA DE TRICICLO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

LEONARDO HENRIQUE DE OLIVEIRA PAULINO

DESENVOLVIMENTO DE ANDADOR NA FORMA DE TRICICLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Genaro Marcial Mamani Gilapa

LONDRINA

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE ANDADOR NA FORMA DE TRICICLO

por

LEONARDO HENRIQUE DE OLIVEIRA PAULINO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 08 de dezembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Genaro Marcial Mamani Gilapa
Prof. Orientador

Jéderson da Silva
Membro titular

Rosana Travessini
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

PAULINO, Leonardo Henrique de Oliveira. **Desenvolvimento de andador na forma de triciclo**. 2021.110f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

Este trabalho consiste no desenvolvimento e fabricação de um andador na forma de triciclo acessível para auxiliar a mobilidade de pessoas que possuem condições físicas limitadas sejam elas temporárias ou permanentes de seus membros inferiores, como idosos e pessoas com deficiência. O andador é um veículo de 3 rodas, que pode ser classificado como um triciclo, sendo constituído por componentes disponíveis no mercado e por peças fabricadas sob medida. Foram adotadas algumas técnicas de PDP (Processo de Desenvolvimento de Produtos) para o desenvolvimento do projeto com o intuito de mapeá-lo de forma detalhada. Para iniciar o dimensionamento dos componentes principais foram utilizadas dimensões referenciais de um adulto médio. Foram realizadas simulações e análises de estabilidade a fim de garantir a segurança e performance do protótipo. A fabricação dele foi realizada, assim alcançando o objetivo principal, de proporcionar uma solução relacionada a acessibilidade.

Palavras-chave: Veículo de 3 Rodas. Mobilidade Urbana. Acessibilidade. PDP. Tecnologia Assistiva.

ABSTRACT

Paulino, Leonardo Henrique de Oliveira. **Development of walker in the form of tricycle**. 2021. 110p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Federal Technology University - Paraná. Londrina, 2021.

This work consists of the development and manufacture of an accessible walker to assist the mobility of people who have temporary or permanent limited physical conditions in their lower limbs, such as the elderly and people with disabilities. One of the audiences. The walker is a 3-wheel vehicle, which can be classified as a tricycle, consisting of components available on the market and also made-to-measure parts. Some PDP (Product Development Process) techniques were adopted for the development of the project in order to map it in detail. To start the dimensioning of the main components, referential dimensions of an average adult were used. Simulations and stability analyze were carried out in order to guarantee the safety and performance of the prototype. The fabrication of the same was carried out, thus achieving the main objective of providing a solution related to accessibility.

Keywords: 3 Wheeled Vehicle. Urban Mobility. Accessibility. Assistive PDP, Technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Fases de projeto. | 19 |
| Figura 2 - Modelos geométricos. | 21 |
| Figura 3 - Processo de desenvolvimento de produto. | 24 |
| Figura 4 - Atividades da fase de projeto informacional. | 25 |
| Figura 5 - Atividades do projeto conceitual. | 26 |
| Figura 6. Atividades na fase de projeto detalhado. | 27 |
| Figura 7 - Representação do elemento diferencial para cálculo de inércia. | 29 |
| Figura 8 - Exemplo do teorema dos eixos paralelos. | 30 |
| Figura 9 - Tipos de layout. | 31 |
| Figura 10 - Posição longitudinal do centro gravitacional. | 33 |
| Figura 11 - Posição vertical do centro gravitacional. | 34 |
| Figura 12 - Sistema de direção pinhão-cremalheira. | 37 |
| Figura 13 - Sistema de esferas recirculantes. | 38 |
| Figura 14 - Condição de Ackermann. | 40 |
| Figura 15 - Cambagem positiva e negativa na roda dianteira. | 42 |
| Figura 16 - Efeito da cambagem no pneu | 42 |
| Figura 17 - Configuração de caster negativo e positivo o na roda dianteira. | 43 |
| Figura 18 - The Alinker. | 44 |
| Figura 19 - Halfbike. | 45 |
| Figura 20 - Andador Comfort SL-309. | 47 |
| Figura 21 - Andador Superlux. | 48 |
| Figura 22 - Esboço do modelo final. | 51 |
| Figura 23 - Modelo renderizado. | 52 |
| Figura 24 - Modelo CAD e Modelo CAD dividido em elementos finitos. | 53 |
| Figura 25 - Protótipo. | 55 |
| Figura 26 - Controle de suprimentos. | 56 |
| Figura 27 - Vista isométrica do protótipo. | 60 |
| Figura 28 - Componentes do protótipo. | 60 |
| Figura 29 - Largura do protótipo. | 61 |
| Figura 30 - Largura máxima do protótipo. | 62 |
| Figura 31 - Largura final do protótipo. | 63 |
| Figura 32 - Comprimento do protótipo. | 64 |
| Figura 33 - Comprimentos dos segmentos corporais expressos como fração da estatura. | 65 |
| Figura 34 - Representação para cálculo de centro de massa de um segmento genérico. | 66 |
| Figura 35 - Coordenadas dos segmentos corporais. | 67 |
| Figura 36 – CG global do usuário. | 69 |
| Figura 37 - CG do protótipo. | 70 |

| | |
|---|----|
| Figura 38 - CG's individuais do sistema. | 71 |
| Figura 39 - CG global do sistema. | 72 |
| Figura 40 - Zona de estabilidade do protótipo sobre um plano horizontal. | 73 |
| Figura 41 - Triangulo ABCDE. | 74 |
| Figura 42 - Zona de estabilidade do protótipo em um plano frontal. | 75 |
| Figura 44 - Malha para a simulação da caixa de direção. | 78 |
| Figura 45 - Tensão de von Mises para a simulação da caixa de direção. | 79 |
| Figura 46 - Malha para simulação da carenagem. | 80 |
| Figura 47 - Tensão Equivalente de von Mises. | 81 |

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

| | |
|-----|---|
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> |
| CAE | <i>Computer Aided Engineering</i> |
| FEA | <i>Finite Element Analysis</i> |
| FEM | <i>Finite Element Modeling</i> |
| PDP | Processo de Desenvolvimento de Produtos |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Largura e altura do protótipo em função do angulo de camber. | 62 |
| Tabela 2 - Cálculo do CG de cada segmento..... | 67 |
| Tabela 3 - Parâmetros para cálculo do centro de massa do usuário. | 68 |
| Tabela 4 - Cálculo do centro de gravidade do sistema. | 71 |
| Tabela 5 - Análise de estabilidade em diferentes condições de percurso..... | 76 |
| Tabela 6 - Propriedades do aço AISI 1020. | 81 |
| Tabela 7 - Resultados obtidos na simulação..... | 82 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------|--|
| a | Aceleração perpendicular ao vetor velocidade [m/s ²] |
| a_x | Aceleração de um corpo na direção do eixo x [m/s ²] |
| a_y | Aceleração de um corpo na direção do eixo y [m/s ²] |
| a_z | Aceleração de um corpo na direção do eixo z [m/s ²] |
| a_I | Distância entre o eixo dianteiro e o centro gravitacional de veículo [m] |
| a_{II} | Distância entre o eixo traseiro e o centro gravitacional do veículo [m] |
| c | Distância horizontal entre o centro gravitacional e o eixo traseiro do veículo em um plano inclinado [m] |
| d | Distância entre o eixo que passa pelo centro gravitacional e um eixo paralelo [m] |
| d' | Distância horizontal entre o centro gravitacional e o eixo dianteiro doo veículo em um plano inclinado [m] |
| dm | Elemento diferencial de massa [kg] |
| F | Forças que atuam sobre o corpo um corpo [N] |
| F_x | Forças que atuam sobre o corpo um corpo na direção x [N] |
| F_y | Forças que atuam sobre o corpo um corpo na direção y [N] |
| F_z | Forças que atuam sobre o corpo um corpo na direção z [N] |
| CG | Centro gravitacional de um corpo [-] |
| h | Posição vertical do centro gravitacional [m] |
| I | Momento de inercia de massa [kg.m ²] |
| I_G | Momento de inercia de massa em relação ao eixo que passa pelo centro gravitacional [kg.m ²] |
| l | Distância entre os eixos traseiro e dianteiro do veículo [m] |
| M | Momentos que atuam sobre o corpo um corpo [N.m] |
| m | Massa de um corpo [kg] |
| r | Distância perpendicular entre o eixo de inercia e o elemento diferencial dm [kg] |
| r_0 | Raio da roda do veículo [m] |
| R'_I | Reação vertical sobre o eixo traseiro do veículo em um plano inclinado [N] |
| R_{0I} | Reação sobre eixo dianteiro do veículo [N] |
| R_{0II} | Reação sobre eixo traseiro do veículo [N] |
| W | Peso do veículo [N] |

- α Ângulo do plano inclinado [rad]
- σ' Tensão equivalente de von Mises [MPa]
- ω Aceleração angular de um corpo [rad/s²]

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1 OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA..... | 16 |
| 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO | 18 |
| 2.1 PROJETO | 18 |
| 2.2 PROJETO DE MÁQUINAS | 18 |
| 2.2.1 Fases e Iterações do Processo de Projeto | 18 |
| 2.3 PROJETO AUXILIADO POR COMPUTADO (CAD) | 20 |
| 2.3.1 Modelagem Geométrica | 20 |
| 2.3.2 Análise de Engenharia..... | 21 |
| 2.3.3 Avaliação e Revisão do Projeto | 23 |
| 2.3.4 Desenho Automatizado | 23 |
| 2.4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO | 24 |
| 2.4.1 Projeto Informacional..... | 24 |
| 2.4.2 Projeto Conceitual | 25 |
| 2.4.3 Projeto Detalhado | 26 |
| 2.5 CINÉTICA DE CORPOS RÍGIDOS..... | 27 |
| 2.5.1 Equações do Movimento | 27 |
| 2.5.2 Momento de Inércia de Massa | 28 |
| 2.5.3 Teorema dos Eixos Paralelos..... | 29 |
| 2.6 CONFIGURAÇÕES DE LAYOUT DOS TRICICLOS | 31 |
| 2.7 CENTRO DE GRAVIDADE..... | 32 |
| 2.8 ESTABILIDADE | 35 |
| 2.8.1 Estabilidade Lateral e de Rolagem | 35 |
| 2.9 SISTEMAS DE DIREÇÃO..... | 36 |
| 2.9.1 Sistema Pinhão Cremalheira | 36 |
| 2.9.2 Sistema de Parafuso e Rosca Sem-fim..... | 37 |
| 2.9.3 Sistemas de Esferas Recirculantes | 37 |
| 2.9.4 Sistema de Direção Assistido | 38 |
| 2.10 GEOMETRIA DE ACKERMANN..... | 39 |
| 2.11 ALINHAMENTO VEICULAR | 41 |
| 2.11.1 Ângulo de Cambagem | 41 |
| 2.11.2 Ângulo de Caster | 43 |
| 2.12 PRODUTOS CONCORRENTES E SIMILARES | 44 |
| 2.12.1 Alinker..... | 44 |
| 2.12.2 Halfbike..... | 45 |
| 2.12.3 Andador Comfort SL-309..... | 46 |
| 2.12.4 Andador 4 Rodas Superlux..... | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 3. METODOLOGIA | 49 |
| 3.1 PROJETO INFORMACIONAL | 49 |
| 3.1.1 Escopo do Produto | 49 |
| 3.1.2 Tecnologias Disponíveis e Necessárias | 50 |
| 3.1.3 Norma Regulamentadora | 50 |
| 3.2 PROJETO CONCEITUAL..... | 50 |
| 3.2.1 Arquitetura do Produto..... | 50 |
| 3.3 ANÁLISE DE TENSÕES EM PEÇAS | 52 |
| 3.3.1 Análise de Elementos Finitos | 53 |
| 4. RESULTADOS PRELIMINARES | 55 |
| 4.1 ORCAMENTO..... | 56 |
| 5. PROJETO DETALHADO | 57 |
| 5.1 IDENTIFICAÇÃO DE NECESSIDADE..... | 57 |
| 5.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA | 57 |
| 5.3 SÍNTESE..... | 58 |
| 5.3.1 Definição de dados de entrada..... | 58 |
| 5.3.2 Premissas..... | 58 |
| 5.3.3 Decisões iniciais de projeto | 59 |
| 5.4 CROQUIS DE PROJETO | 59 |
| 5.5 MODELAGEM MATEMÁTICA | 61 |
| 5.5.1 Ângulo de Camber e Dimensões | 61 |
| 5.5.2 Centro de massa | 64 |
| 5.5.2.1 CG do usuário | 64 |
| 5.5.2.2 CG do protótipo..... | 69 |
| 5.5.2.3 CG do sistema protótipo-usuário..... | 70 |
| 5.5.3 Análise de estabilidade..... | 72 |
| 5.5.4 Análise de elementos finitos | 76 |
| 5.5.4.1 Simulação da caixa de direção..... | 77 |
| 5.5.4.2 Simulação da carenagem | 79 |
| 5.5.4.3 Análise dos resultados..... | 81 |
| 6. PROBLEMÁTICAS NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO | 83 |
| 7. AVALIAÇÃO E SUGETÕES DE MELHORIA | 84 |
| 7.1 AVALIAÇÃO PRÁTICA DO PROTÓTIPO | 84 |
| 7.1.1 Ergonomia | 84 |
| 7.1.2 Performance | 85 |
| 7.1.3 Sugestões adicionais..... | 86 |
| 7.1.4 Sugestões para trabalhos futuros | 86 |
| 8. CONCLUSÃO | 88 |
| REFERÊNCIAS | 89 |
| APÊNDICE A - Artigo SEI SICITE | 93 |
| APÊNDICE B - Certificado SEI SICITE | 94 |

| | |
|---|-----------|
| APÊNDICE C - Detalhamento de parte dos componentes | 95 |
|---|-----------|

1. INTRODUÇÃO

O aumento da parcela populacional idosa, que é explicado pela teoria da transição demográfica, tem se mostrado uma preocupação para o mundo todo, principalmente em países onde esse crescimento não vem acompanhado de melhorias na área da saúde, sendo este um fator determinante para que o envelhecimento não se torne um problema (VIANA et al., 2010).

Este fenômeno traz à tona assuntos que envolvem acessibilidade e segurança desta parcela crescente da população, que muitas vezes necessitam uma atenção especial para exercerem determinadas funções cotidianas.

Uma das atividades mais importantes no dia a dia de uma pessoa é o caminhar utilizando a função motora dos pés. Pessoas idosas na maioria das vezes enfrentaram limitações para caminhar devido ao declínio da capacidade motora durante o processo de envelhecimento (TAKANOKURA, 2014).

Esta redução na capacidade funcional da pessoa idosa vem acompanhada de riscos principalmente relacionado a quedas, que podem acarretar em lesões e sequelas, sendo a queda uma das principais causas da mortalidade entre os idosos (POIER et al., 2017).

Na maioria dos países ditos desenvolvidos, propostas envolvendo diferentes tecnologias assistivas conhecidas como TA's vem sendo amplamente utilizadas para melhorar a qualidade de pessoas que se encontram em estado fragilizado, possuindo alguma limitação física, seja de nascença ou adquirida ao longo do tempo, sendo esta limitação momentânea ou permanente. Essas tecnologias são caracterizadas como sendo todo tipo de dispositivo, que tem como função fomentar a capacidade funcional individual (ANDRADE; PEREIRA, 2009).

Existe uma categoria específica da tecnologia assistiva relacionada ao auxílio de mobilidade, esta abrange todo tipo de dispositivo e estratégia para incrementar a mobilidade individual, alguns exemplos são andadores, cadeiras de rodas, bengalas, muletas e etc (BERSCH, 2017).

Os andadores são amplamente utilizados por indivíduos com dificuldade de locomoção, devido a proporcionarem estabilidade e equilíbrio, reduzindo consideravelmente o risco de quedas e o desgaste físico. Há diversos tipos de andadores disponíveis, cada um fornecendo diferentes modos para o usuário locomover-se e podendo também conter acessórios complementares que facilitam

sua utilização de acordo com a dificuldade específica do utilizador. Existem duas categorias mais comuns de andadores, os fixos e os moveis, sendo a categoria móvel caracterizada por possuir de 2 a 4 rodas em sua constituição. Aqueles que possuem apenas 3 rodas são denominados de triciclos.

Os triciclos inicialmente foram desenvolvidos para uma categoria esportiva, porém, com o passar do tempo foram sendo adaptados para serem utilizados com uma forma de mobilidade urbana, apresentando uma vantagem devido ao seu tamanho (FARIA, 2010).

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de andador na forma de triciclo, com o intuito de auxiliar na mobilidade de pessoas que possuem alguma limitação motora dos membros inferiores, como por exemplo idosos e pessoas com deficiência.

Os objetivos específicos são:

- Identificação dos esforços os quais o protótipo será solicitado durante seu funcionamento, assim como os fatores ambientais que o mesmo será submetido;
- Modelagem das peças que irão compor o protótipo por meio do *software* SolidWorks.
- Avaliar os parâmetros que influenciam na estabilidade.

1.2 JUSTIFICATIVA

O cenário atual tem se mostrado propenso a uma absorção de produtos que auxiliam pessoas que possuem sua mobilidade comprometida, seja pela idade, por alguma deficiência temporária ou permanente. Outro fator que contribui para o aumento da demanda deste seguimento é o aumento da expectativa de vida da população, que implica em busca de soluções que facilitem a vida desta faixa etária.

Sendo assim o desafio se torna desenvolver um equipamento que promova total auxílio para o usuário, com segurança, conforto e também seja de fácil acesso.

O engenheiro mecânico possui um papel de grande responsabilidade quanto a desenvolver soluções relacionadas a tecnologias assistivas. Este trabalho se torna uma oportunidade de aplicação dos conhecimentos concretos adquiridos ao longo da graduação, visando promover acessibilidade e integração daqueles que se encontram em situação de maior fragilidade.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 PROJETO

Segundo Budynas e Nisbett (2011), projetar é formular um plano para atender uma necessidade específica ou resolver um problema. Se o plano resultar na criação de algo concreto, então o produto deverá ser funcional, seguro, confiável, competitivo, próprio para ser usado, fabricado e comercializado.

2.2 PROJETO DE MÁQUINAS

O objetivo final de um projeto de máquinas é dimensionar e dar formas as peças e escolher os materiais e os processos de manufatura apropriados, de modo que a máquina resultante possa desempenhar a função desejada sem falhar (NORTON, 2013).

2.2.1 Fases e Iterações do Processo de Projeto

As etapas para o desenvolvimento de um projeto proposto por Budynas e Nisbett (2011) são mostrados na Figura 1. As etapas do projeto podem apresentar a necessidade de serem realizadas mais de uma vez, caso a natureza do projeto exija. O processo tem início na identificação de uma necessidade e na decisão de fazer algo a respeito. Na maioria das vezes essa necessidade não é algo muito evidente, podendo ser desde um vago descontentamento a sensação de que algo não está correto.

A segunda etapa é a definição do problema, onde devem ser apresentadas todas as especificações do objeto que será projetado. As especificações definem o custo, a quantidade que deve ser fabricada, a vida útil de funcionamento esperada, o intervalo, a temperatura de operação e a confiabilidade do elemento.

Devem estar contidos dentro destas especificações dados como intervalos máximos de velocidades, avanços, temperatura, , dimensões, pesos e etc. (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

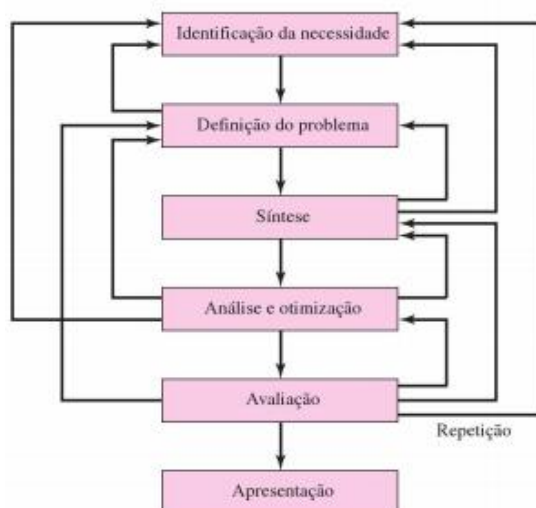


Figura 1 - Fases de projeto.
Fonte: Budynas e Nisbett, 2011.

As especificações estão também restritas a qualquer limitação de escolhas do projetista. A falta de determinado material no mercado, processos disponíveis no mercado, fatores econômicos são exemplos de limitações há qual o projetista está sujeito durante o processo de escolha (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

A etapa de síntese envolve a sintetização de esquemas que possam interligar possíveis elementos de um sistema, comumente denominada de invenção do conceito ou projeto conceitual. À medida que o esquema atinge uma robustez ele deve passar por análises para verificar se o desempenho do mesmo é satisfatório ou não e se for satisfatório qual é o nível desse desempenho. Os esquemas de sistemas que não atendem os requisitos analisados são revisados, aperfeiçoados ou descartados. A avaliação ocorre para que seja alcançado um produto mais competitivo. Esta etapa está fortemente ligada a etapa posterior de análise e otimização (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

O projeto como pode ser observado é um processo de repetição das várias etapas estabelecidas, onde são avaliados os resultados e assim retornar para uma etapa anterior do procedimento. Os componentes de um sistema podem ser sintetizados, analisados e otimizados e desta forma retorna para a síntese para observar o efeito resultante nas outras partes do sistema. É importante ressaltar que

na maioria das vezes os componentes são dependentes um dos outros, sendo assim, é necessário fazer estimativas grosseiras para que se de sequência ao projeto, realizando refinamento e iterações até que seja alcançado um projeto final satisfatório para todos os componentes do sistema (BUDYNAS; NISBETT, 2011)

A avaliação é a última prova a qual o projeto é submetido, onde verifica-se o mesmo é bem-sucedido, na maioria das vezes esta etapa está relacionada com teste em laboratório. Questionamentos sobre o produto como por exemplo confiabilidade, possibilidade de manutenção e ajustes, viabilidade de fabricação e lucro são levantadas para determinar se o mesmo atende as necessidades estipuladas (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Por fim, a última etapa do processo é a apresentação, é nela que o projeto é transmitido para terceiros. Mesmo com o mais excelente dos projetos existe a necessidade de explicação do mesmo para outras pessoas, de forma com que a ideia possa ser comprada. É de extrema importância o êxito nesta etapa, pois, ela determinará se o tempo e o esforço gasto para elaboração do projeto foi ou não em vão (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

2.3 PROJETO AUXILIADO POR COMPUTADO (CAD)

O CAD (*Computer-Aided Design*) é toda atividade de projeto relacionada com o uso de sistemas computacionais para criar, modificar, analisar, aperfeiçoar e documentar um projeto de engenharia. Os sistemas CAD podem facilitar 4 das fases de projeto mostradas anteriormente, sendo elas síntese, análise e otimização, avaliação e apresentação (GROOVER, 2015).

2.3.1 Modelagem Geométrica

A modelagem geométrica consiste no uso de sistemas CAD para o desenvolvimento de uma descrição matemática da geometria de um objeto. Esta descrição encontra-se armazenada na memória do computador, permitindo que o usuário obtenha uma imagem gráfica do objeto e realize operações no mesmo,

permitindo a construção de um novo produto e seus componentes ou modificar algum modelo já existente (GROOVER, 2015).

Uma classificação comum para dentro da modelagem geométrica é a distinção entre modelos bidimensional (2D) e tridimensional (3D). Os modelos bidimensionais são melhores utilizados para desenhar objetos planos e na construção de layouts, esses modelos também são usados para objetos 3D, onde são desenhadas diferentes vistas do mesmo para sua representação. Sistemas CAD tridimensionais permitem a construção de modelos em três dimensões a partir das instruções fornecidas pelo projetista, isso é benéfico, pois, o objeto 3D pode ser visto em diferentes vistas e diferentes ângulos (GROOVER, 2015).

Outra classificação para os modelos geométricos é a divisão entre modelo em arame e modelo sólido. Os modelos em arame utilizam segmentos de linhas interconectados para retratar o objeto, em caso de geometrias muito complexas este tipo de representação pode se mostrar confusa, devido a todas as linhas existentes no modelo serem mostradas. Modelos sólidos são mais utilizados que os em arame, pois, representam o objeto de uma forma mais realista, muito próxima do que seria o objeto na vida real. Os cálculos de engenharia são facilitados por este tipo de modelo, ele permite a determinação de parâmetros como a massa dentre outras propriedades do objeto (GROOVER, 2015).

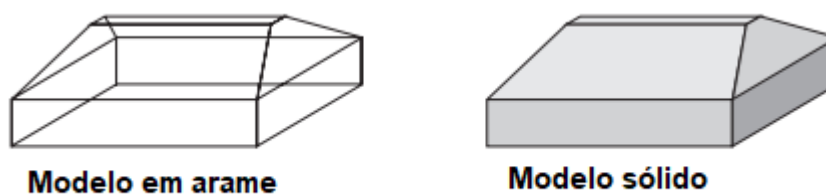


Figura 2 - Modelos geométricos.
Fonte: Adaptado de Groover, 2015.

2.3.2 Análise de Engenharia

As análises de engenharia são procedimentos que devem ser realizados após um design/projeto preliminar ter sido desenvolvido, essas análises incluem cálculos de tensão-deformação, análises de transferência de calor ou simulações dinâmicas.

Antes da utilização de computadores para auxiliar nesse procedimento de análise, os cálculos consumiam muito tempo do projetista e na maioria das vezes era simplificado devido a sua complexidade. Os sistemas CAD possuem uma variedade de softwares para auxiliar na análise de engenharia. O termo CAE (*Computer-Aided Engineering*) apresenta-se como um sistema para executar esta análise por meio do auxílio de um computador (GROOVER, 2015).

Alguns exemplos de análises possíveis de serem realizadas por meio de softwares CAE segundo Groover (2015) são:

Análise e propriedades de massa. Esta análise está relacionada às características físicas de um objeto sólido, como seu volume, área superficial, peso e centro de gravidade.

- Elementos finitos. Conhecido como FEA (*Finite Element Analysis*) ou FEM (*Finite Element Modeling*), este tipo de software tem como objetivo auxiliar em cálculos de engenharia, como por exemplo o cálculo de tensão deformação, deslocamento dentre outros. O programa baseia-se em uma análise numérica para encontrar solução de problemas que envolvem equações diferenciais que na maioria das vezes são praticamente impossíveis de serem solucionadas de forma analítica.
- Análise e propriedades de massa. Esta análise está relacionada às características físicas de um objeto sólido, como seu volume, área superficial, peso e centro de gravidade.
- Análise cinemática e cinética. Um mecanismo é formado por múltiplos elementos rígidos interligados entre si, a análise cinemática tende a especificar o movimento dos elementos ditos motores e assim determinando o movimento dos outros elementos que constituem o mecanismo. A análise cinética inclui os efeitos da massa de cada elemento do mecanismo em conjunto com as forças de aceleração resultante bem como qualquer força externa aplicada no sistema.
- Simulação de eventos discretos. Este modo de simulação é utilizado para modelar sistemas complexos de eventos que ocorrem em momentos discretos do tempo não sendo de forma contínua, em cada um desses eventos ocorrem mudanças no estado e no desempenho do sistema.

Assume-se que não existem mudanças no sistema nos intervalos entre os eventos.

2.3.3 Avaliação e Revisão do Projeto

Sistemas CAD possuem alguns recursos que podem auxiliar na avaliação e revisão do projeto. Groover (2015) apresenta exemplos de recursos presentes dentro do sistema como por exemplo:

- Dimensionamento automático. Este recurso permite a determinação das medidas de distância entre superfícies presentes no modelo geométrico.
- Checagem de erro. Refere-se aos algoritmos presentes no sistema CAD que tem como função revisar a precisão e consistência das dimensões e tolerâncias e avaliar se foi seguido o formato adequado da documentação do projeto.
- Animação da solução de eventos discretos. É a representação gráfica da solução obtida anteriormente na simulação de eventos discretos, ela facilita avaliação da desta solução.
- Pontuações do projeto do layout da planta. Existem variedades de pacotes de softwares presentes nos sistemas CAD que auxiliam no projeto, eles permitem também que o projetista faça o projeto do piso e também do arranjo físico do equipamento em uma instalação.

2.3.4 Desenho Automatizado

A etapa de apresentação descrita anteriormente pode ser auxiliada por sistemas CAD na forma de aumento na produtividade de desenhos de engenharia que em alguns casos são necessários na forma de documentos físicos em papel. Estima-se que sistemas CAD podem quintuplicar a produtividade em relação ao desenho feito de forma manual (GROOVER, 2015).

2.4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Rozenfeld et al (2006) apresenta um modelo de desenvolvimento de produto separado em 3 macro fases, sendo elas o pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento, como mostrado na Figura 3.

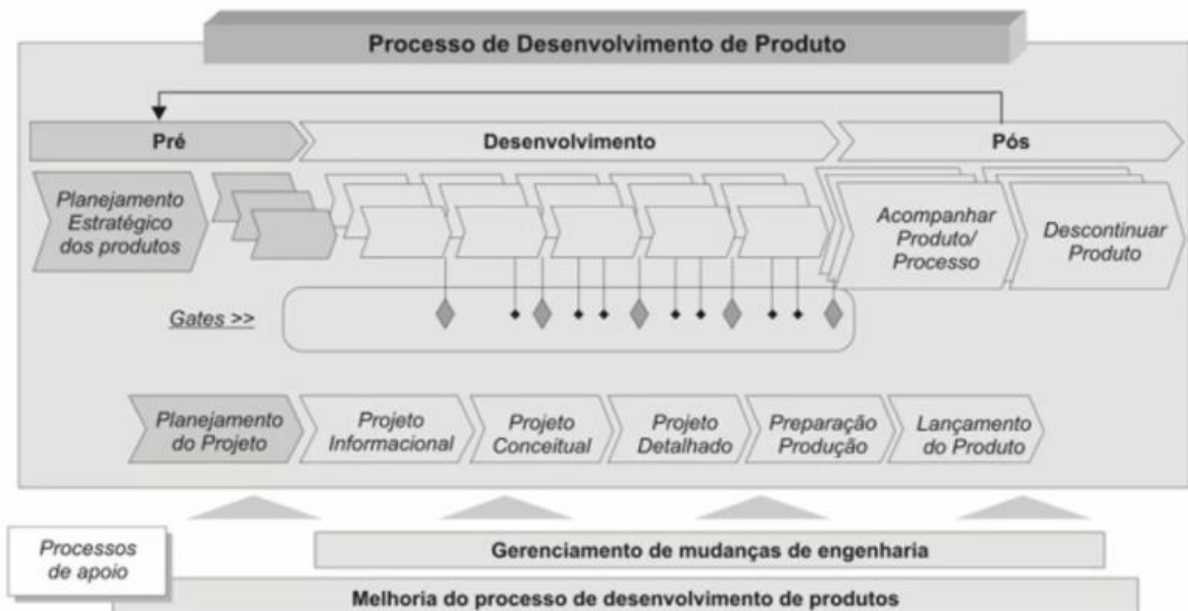


Figura 3 - Processo de desenvolvimento de produto.
 Fonte: Rozenfeld et al (2006).

A macro fase de desenvolvimento relaciona os aspectos tecnológicos de definição do produto, suas características e formas de produção. Ela é subdividida em 3 fases distintas, sendo elas: Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado (ROZENFELD et al., 2016).

2.4.1 Projeto Informacional

A fase de projeto informacional, tem como finalidade desenvolver um conjunto de informações, de forma muito completa, que são denominadas especificações metas do produto, esses dados são definidos a partir de informações anteriores obtidas na fase de planejamento (ROZENFELD et al., 2016).

As especificações servem como orientação para que sejam geradas possíveis soluções e também que tem como função servir de base para a elaboração

de critérios de avaliação e de tomada de decisões que são abordadas em etapas posteriores durante o processo de desenvolvimento (ROZENFELD et al., 2016).

Todas as atividades que são desenvolvidas na fase de projeto informacional encontram-se ilustradas na Figura 4.

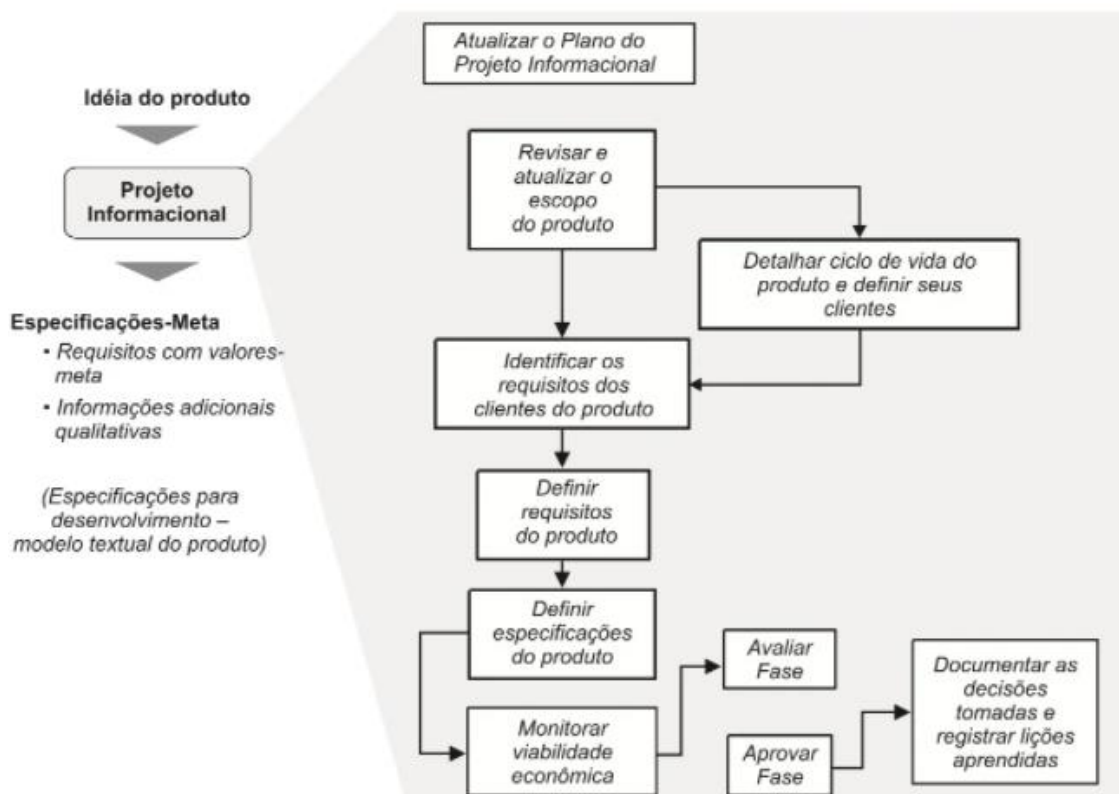


Figura 4 - Atividades da fase de projeto informacional.
 Fonte: Rozenfeld et al (2006).

2.4.2 Projeto Conceitual

Nesta fase as atividades estão basicamente ligadas a busca, criação, representação e seleção de soluções para a problemática de projeto, sempre mantendo uma compatibilidade com as fases anteriores (ROZENFELD et al., 2016)

A busca por soluções está relacionada com o levantamento de dados de produtos similares e concorrentes e patentes, caracterizando um processo de *benchmarking* (ROZENFELD et al., 2016).

A atividade de criação de soluções é um processo que não possui restrições, sendo direcionado apenas pelas necessidades, requisitos e especificações de projeto de produto, é uma etapa muito ligada ao processo criativo. (ROZENFELD et al., 2016).

O procedimento de representação de soluções aborda a elaboração de esquemas, croquis e desenhos, sendo feitos de forma manual ou utilizando um software computacional e está fortemente ligada a criação, onde em muito dos casos essas atividades são realizadas em conjunto.(ROZENFELD et al., 2016)

Por fim, a seleção é realizada baseando-se em métodos apropriados, relacionados a necessidades ou requisitos que foram definidos em passos anteriores.(ROZENFELD et al., 2016)

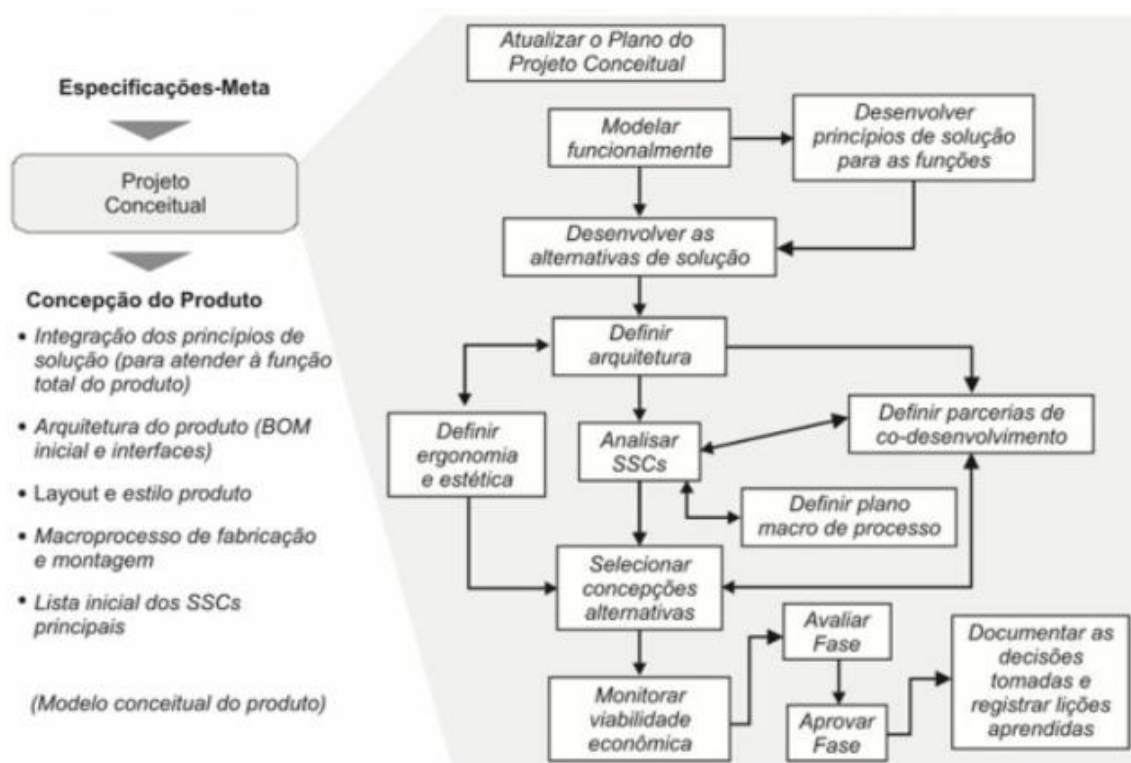


Figura 5 - Atividades do projeto conceitual.
Fonte: Rozenfeld et al (2006).

2.4.3 Projeto Detalhado

Nesta fase, pode-se dizer que é dado início aos processos de engenharia de dimensionamento de cada componente que irá compor o produto. Durante sua execução são desenvolvidas e finalizadas todas as especificações do produto, para posteriormente ser dado entrada ao processo de fabricação e nas fases posteriores de desenvolvimento.(ROZENFELD et al., 2016)

A Figura 6 ilustra todas as atividades executadas na fase de projeto detalhado.

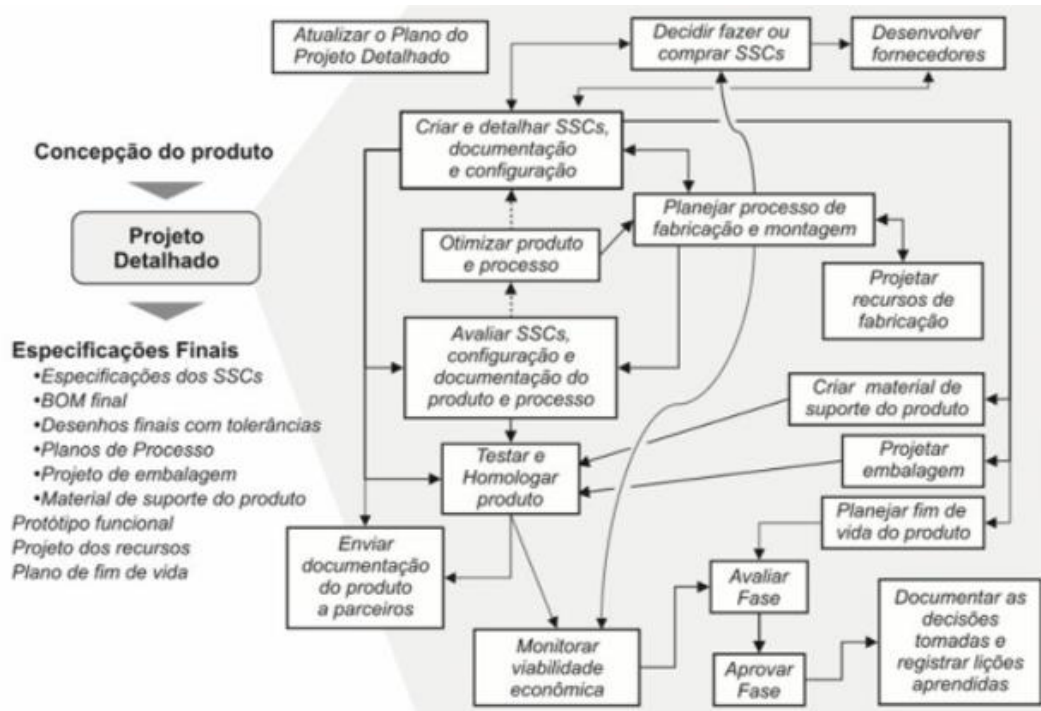


Figura 6. Atividades na fase de projeto detalhado.
Fonte: Rozenfeld et al (2006).

2.5 CINÉTICA DE CORPOS RÍGIDOS

2.5.1 Equações do Movimento

As leis que regem o movimento dos corpos no campo dinâmico são apresentadas como três leis fundamentais de Newton, sendo elas:

- 1ª Lei. Uma partícula permanece em repouso ou continua a se mover com velocidade uniforme (em uma linha reta com uma velocidade constante) se a força resultante agindo sobre ela for nula (MERIAM; KRAIGE, 2016).
- 2ª Lei. A aceleração de uma partícula é proporcional a força resultante agindo sobre ela e tem a mesma direção e sentido desta força (MERIAM; KRAIGE, 2016).
- 3ª Lei. As forças de ação e reação entre os corpos interagindo são iguais em módulo, oposta no sentido e colineares (MERIAM; KRAIGE, 2016).

Estas três leis foram examinadas por meio de inúmeras medições físicas, sendo que as duas primeiras são vigentes na condição de uma medição em um sistema referencial absoluto, estando sujeitas a mecanismo de correção quando sistema de referência também apresenta uma aceleração (MERIAM; KRAIGE, 2016).

Para grande parte dos problemas dinâmicos a segunda lei de Newton possui um papel importante durante as análises (MERIAM; KRAIGE, 2016).

Esta lei pode ser escrita para um corpo rígido das seguintes formas:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (2)$$

$$\sum \vec{M} = I\vec{\alpha} \quad (3)$$

Onde os somatórios de \vec{F} e \vec{M} são os vetores de forças e momentos que atuam sobre o corpo, m é a massa do corpo, a é a aceleração do corpo, I é o momento de inércia rotacional calculado no CG do corpo e $\vec{\alpha}$ é o vetor de aceleração angular do corpo.

Em uma análise tridimensional de corpos rígidos, a Equação (2), pode ser escrita na forma de 3 equações escalares das componentes ortogonais tomadas de acordo com um sistema de eixos adotados x , y e z , tendo como origem o centro gravitacional do corpo (NORTON, 2013).

$$\sum F_x = ma_x \quad (4)$$

$$\sum F_y = ma_y \quad (5)$$

$$\sum F_z = ma_z \quad (6)$$

2.5.2 Momento de Inércia de Massa

O momento de inércia é dito como sendo uma medida de resistência de um corpo a uma aceleração angular. Define-se esse momento de inércia na forma de uma integral do “segundo momento” em relação a um eixo de um conjunto de elementos de massa dm que constituem um corpo (HIBBELER, 2011).

Para um elemento diferencial de massa dm que está uma distância r perpendicular do eixo no qual quer se determinar a inercia, pode-se calcular a inercia através da Equação (7).

$$I = \int_m r^2 dm \quad (7)$$

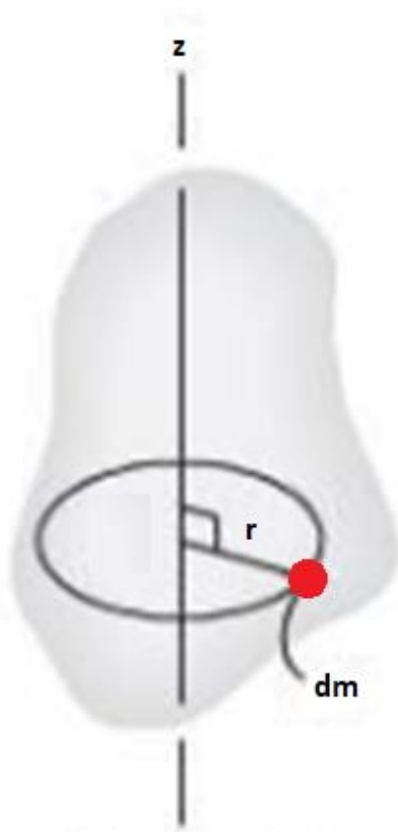


Figura 7 - Representação do elemento diferencial para cálculo de inércia.
Fonte: Hibbeler, 2011.

2.5.3 Teorema dos Eixos Paralelos

O teorema dos eixos paralelos consiste na determinação do momento de inercia em relação a um eixo paralelo ao eixo que se encontra no centro gravitacional de um corpo conhecido. (HIBBELER, 2011).

No exemplo apresentado na Figura 8 temos um eixo z' que passa pelo centro gravitacional G e um eixo paralelo z que se encontra a uma distância d .

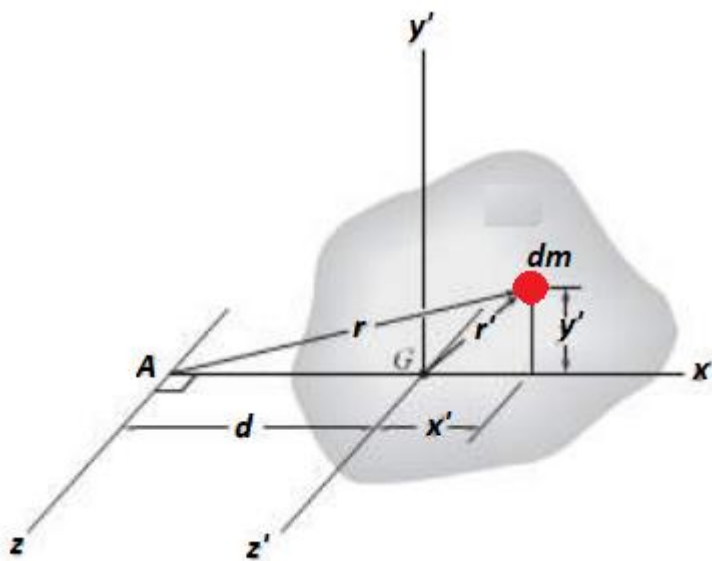


Figura 8 - Exemplo do teorema dos eixos paralelos.
Fonte: Hibbeler, 2011.

O ponto escolhido do elemento diferencial de massa dm localiza-se em (x', y') , pelo teorema de Pitágoras temos que $r^2 = (d + x')^2 + y'^2$, desta forma o momento de inércia em relação ao eixo z é dado por:

$$I = \int_m r^2 dm = \int_m (y'^2 + x'^2) + 2d \int_m x' dm + d^2 \int_m dm \quad (8)$$

Como pode ser observado a primeira integral representa o momento de inércia em relação ao eixo z' do corpo I_G . Levando em consideração que este eixo z' passa pelo centro de massa do corpo, temos que a segunda integral é igual a zero pois, $\int_m x' dm = \bar{x} m$, onde $\bar{x} = 0$. Por fim temos que a terceira integral resulta no produto da distância d que é a distância perpendicular entre os eixos z e z' pela massa total do corpo m , sendo assim a Equação (8) pode ser descrita da seguinte forma (HIBBELER, 2011).

$$I = I_G + md^2 \quad (9)$$

2.6 CONFIGURAÇÕES DE LAYOUT DOS TRICICLOS

Existem dois tipos de configurações de layout para os triciclos convencionais, sendo os do tipo delta e *tadpole*.

O tipo delta é construído com duas rodas traseiras e uma dianteira, onde está única roda é quem controla o sistema de esterçamento do veículo. Geralmente esta configuração é mais versátil e manobrável, na maioria dos designs a roda dianteira pode se virar em quase 90 graus, o que dá ao triciclo a possibilidade realizar um movimento circular de raio de aproximadamente seu comprimento. (STEFANOVICH, 2019)

A configuração *tadpole* possui duas rodas dianteiras e apenas uma traseira, sendo o sistema de direção localizado nas rodas dianteiras. Esse sistema com duas rodas dianteiras permite que o triciclo realize de forma mais fácil as curvas em alta velocidade, com duas rodas oferecendo maior estabilidade para resistir forças laterais que surgem durante uma curva. Este tipo de triciclo é o mais utilizado quando se prioriza estabilidade e velocidade ao invés de manobrabilidade (STEFANOVICH, 2019),

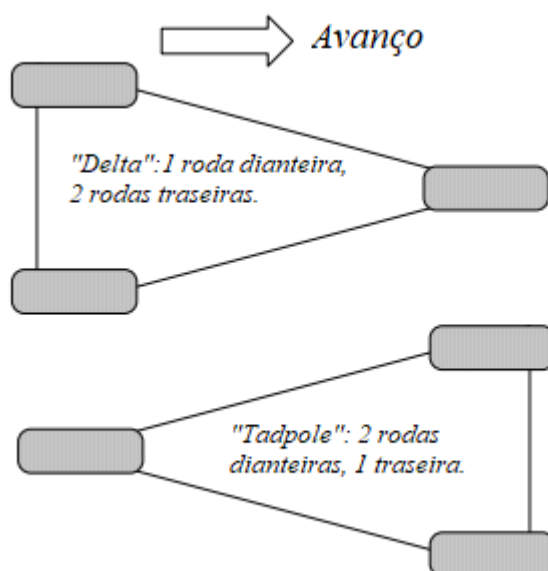


Figura 9 - Tipos de layout.
Fonte: Adaptado de Margetts, 2018.

2.7 CENTRO DE GRAVIDADE

A determinação da posição do centro gravitacional CG de um veículo é de extrema importância, pois, é nesta posição em que se encontram as forças de peso e inércia. Com a localização de G conhecida é possível realizar a análise da transmissão de força do pneu para o solo em um veículo em movimento (LEAL; ROSA; NICOLAZZI, 2012).

Considere o exemplo da Figura 10. Com o peso do veículo conhecido pode-se determinar a posição do CG do mesmo. Assumindo que R_{0I} e R_{0II} sejam as reações sobre os eixos dianteiros e traseiros respectivamente e W o peso total do veículo, aplicando o somatório das forças verticais (sentido positivo para cima) e dos momentos em relação ao eixo dianteiro (com sentido anti-horário como positivo) temos que:

$$-W + R_{0II} + R_{0I} = 0 \quad (10)$$

$$-W \cdot a_I + R_{0I} \cdot l = 0 \quad (11)$$

As distâncias dos eixos dianteiro e traseiro ao centro gravitacional, a_I e a_{II} respectivamente são determinadas como:

$$a_I = \frac{R_{0II}}{W} \cdot l \quad (12)$$

$$a_{II} = \left(1 - \frac{R_{0II}}{W}\right) \cdot l \quad (13)$$

Definindo variável x como sendo:

$$x = \frac{R_{0I}}{W} \quad (14)$$

Tem-se que:

$$a_I = x \cdot l \quad (15)$$

$$a_{II} = (1 - x) \cdot l \quad (16)$$

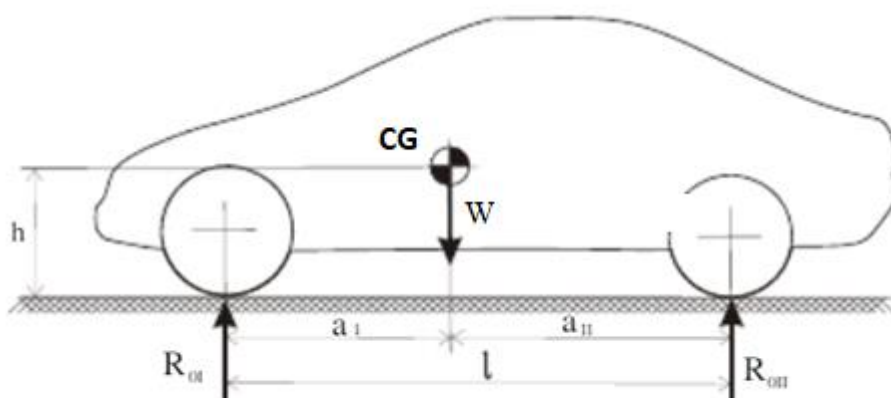


Figura 10 - Posição longitudinal do centro gravitacional.
Fonte: Leal et al., 2012.

Para determinar a altura do centro gravitacional é necessário realizar uma análise em um plano inclinado como esquematizado na Figura 11. A somatória dos momentos no eixo traseiro (sentido anti-horário como positivo) resulta em:

$$-R'_1 \cdot (c + d') + W \cdot c = 0 \quad (17)$$

Onde R'_1 é nova reação vertical do eixo dianteiro e c e d' são as distâncias horizontais do centro gravitacional até os eixos dianteiro e traseiro respectivamente.

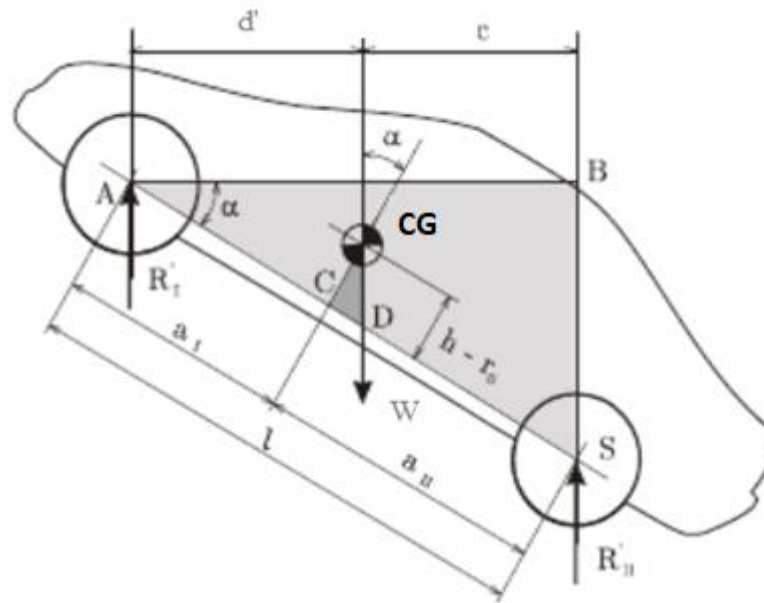


Figura 11 - Posição vertical do centro gravitacional.
Fonte: Adaptado de Leal et al., 2012.

A partir do triângulo ABS tem-se a seguinte relação:

$$c + d' = l \cdot \cos \alpha \quad (18)$$

Substituindo esta relação na Equação (17) obtém-se:

$$-R'_I \cdot l \cdot \cos \alpha + W \cdot c = 0 \quad (19)$$

Que pode ainda ser rearranjada como sendo:

$$R'_I \cdot l = W[a_{II} - (h - r_0) \cdot \tan \alpha] \quad (20)$$

E posteriormente isolando o termo da altura que se deseja determinar tem-se:

$$(h - r_0) = l \cot \alpha \left[\frac{a_{II}}{l} - \frac{R'_I}{W} \right] \quad (21)$$

A Equação (15) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{a_{II}}{l} = (1 - x) \quad (22)$$

De forma similar define-se x' como sendo:

$$1 - x' = \frac{R'_I}{W} \quad (23)$$

Substituindo as equações (22) e (23) na Equação (21) tem-se:

$$(h - r_0) = l \cdot \cot \alpha \cdot (x' - x) \quad (24)$$

Assim posição vertical do centro gravitacional pode ser descrita pela Equação (25) como sendo:

$$(h - r_0) = \frac{l}{W} \cot \alpha [R_{01} - R'_I] \quad (25)$$

Observa-se Equação (25) disponibilizada por Leal et al (2012) vale apenas para condição em que todas as rodas do veículo são iguais.

2.8 ESTABILIDADE

2.8.1 Estabilidade Lateral e de Rolagem

E estabilidade lateral dos veículos está relacionada a resposta do mesmo a partir dos comandos do motorista durante uma curva (OLEGARIO, 2017).

Para garantir a estabilidade lateral de triciclos na condição de movimento retilíneo a uma velocidade constante, é recomendado que o centro de massa do veículo na configuração *tadpole* se localize a um terço de sua parte dianteira (HUSTON; GRAVES; JOHNSON, 1982).

Na configuração *delta* o centro de gravidade deve se localizar a dois terços da parte dianteira (HUSTON; GRAVES; JOHNSON, 1982).

Fenner (2010) define a estabilidade de rolagem como sendo uma medida da tendência de um veículo de tombar para o lado quando uma força lateral do corpo é aplicada, como por exemplo durante uma curva.

Para uma máxima estabilidade de rolagem o centro de gravidade deve estar o mais próximo possível do eixo que possui duas rodas (FENNER, 2010).

Durante suas análises em um protótipo de um veículo de 3 rodas, Olegário (2017) conclui por meio de comparativos de seus resultados, em relação os limites de operação do triciclo, que a altura do centro gravitacional do mesmo possui grande influência na quantidade de transferência de carga e na velocidade crítica na qual o veículo irá tombar ou perder o controle durante uma curva.

2.9 SISTEMAS DE DIREÇÃO

2.9.1 Sistema Pinhão Cremalheira

Neste tipo de direção o eixo do volante encontra-se ligado a um pinhão que se desloca sobre uma cremalheira, o que resulta na movimentação dos braços de suspensão e das rodas. Há uma conexão entre os terminais de direção e a cremalheira o que permite o descolamento das rodas. Todos esses componentes encontram-se dentro de uma carcaça que protege contra umidade e poeira por meio de uma vedação, esta carcaça também promove a lubrificação adequada do conjunto (CARPES JR; LOSEKANN, 2013).

A cremalheira é um elemento semelhante a um eixo comum, onde são usinados dentes de que simulam uma engrenagem. O sistema funciona da seguinte forma, a partir do giro da coluna de direção, o parafuso sem-fim impõe o movimento da cremalheira para algum dos lados, que empurra os braços de ligação, que por fim forçam as rodas dianteiras a esterçarem.

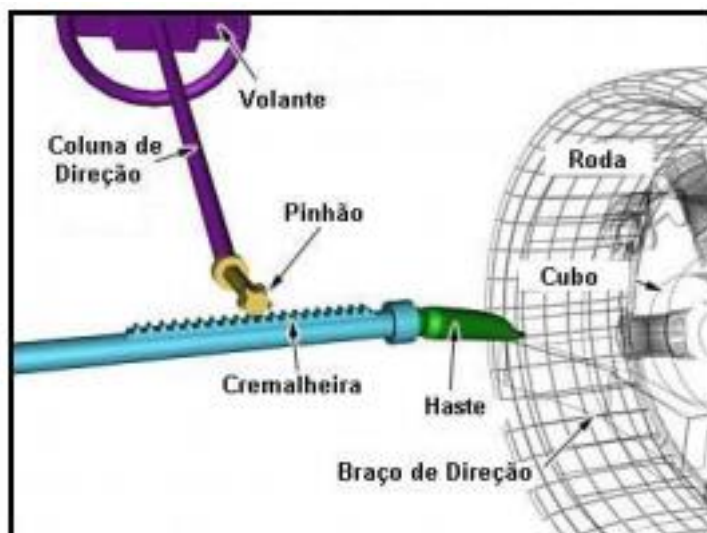


Figura 12 - Sistema de direção pinhão-cremalheira.
Fonte: Carpes JR e Losekann, 2013.

2.9.2 Sistema de Parafuso e Rosca Sem-fim.

O sistema de direção tem como função transformar o movimento da coluna de direção, no movimento de esterçamento das rodas dianteiras. Os dois componentes que possibilitam essa função são basicamente o parafuso sem-fim e um eixo dentado. A caixa de direção é quem aloca esses componentes, onde está promove a lubrificação e proteção contra agentes externos como poeira e umidade. A rotação do parafuso sem-fim acontece como resultado do giro da coluna de direção. A rotação do parafuso força este eixo dentado que está ligado ao braço chamado de *pitman* ou braço de direção. As ligações entre este braço e as rodas permite a transmissão do movimento para as rodas. De acordo com a movimentação do *pitman* as rodas mudam de posição para realizar a curva desejada (CARPES JR; LOSEKANN, 2013).

2.9.3 Sistemas de Esferas Recirculantes

Neste sistema o eixo da direção é interligado a um parafuso que está alocando dentro da caixa de direção, este transmite o movimento para um conjunto porca-parafuso. Não existe o contato direto entre a porca e o parafuso, porém, este sistema possui esferas que circulam por canaleta que o realizam. O movimento da porca é

inverso a circulação das esferas. Ambos os componentes do conjunto porca-parafuso possuem estas canaletas, a porca possui também um guia que tem como função evitar o giro dela, permitindo apenas o movimento linear. Em sua parte externa, a porca possui uma cremalheira, que durante o deslocamento linear da porca, esta cremalheira gira. Existem ligações entre a cremalheira e o braço de *pitman*, o que realiza o esterçamento das rodas (CARPES JR; LOSEKANN, 2013).

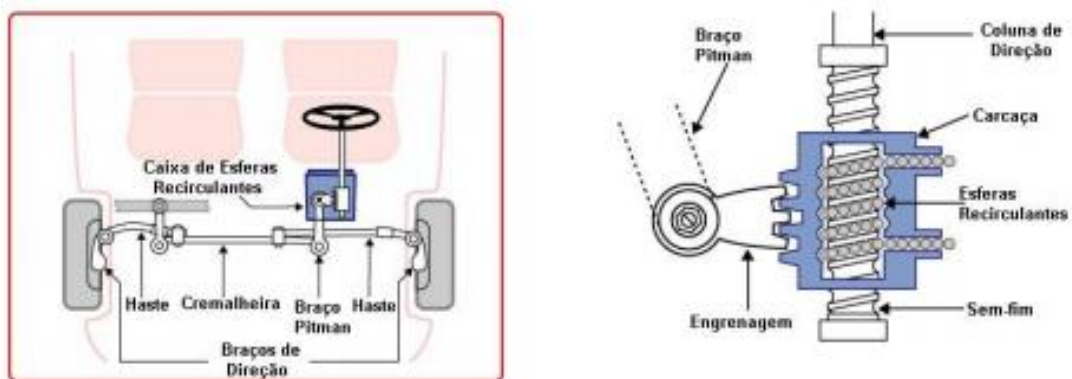


Figura 13 - Sistema de esferas recirculantes.
 Fonte: Carpes Jr, Losekann, 2013.

2.9.4 Sistema de Direção Assistido

O Sistema de direção hidráulico é um conjunto composto por uma bomba de fluido hidráulico que está ligado a um motor por meio de uma correia, também possui mangueiras de pressão e uma válvula controladora.

Na maioria dos casos as bombas contêm uma válvula controladora de fluxo, que restringe o fluxo de fluido para o cilindro que assiste à direção, possuindo também uma válvula de escape que alivia a pressão do sistema de acordo com as exigências.

A partir do acionamento do volante, é criada uma resistência gerada pelo atrito das rodas com o solo devido ao peso, isto faz com que uma barra de torção na válvula giratória se deflexione, mudando assim a posição do carretel da válvula, que controlando assim o fluxo sob pressão a direção apropriada do cilindro que assiste o sistema. O pistão presente no cilindro se movimenta devido a diferença de pressão forçada entre os dois lados do embolo, este movimento força a cremalheira a se deslocar, desta forma reduzindo a força necessária para girar o volante. O líquido alocado no outro lado do embolo é forçado a voltar para o reservatório. Quando a força sobre o volante é cessada, a válvula de controle retorna a sua posição original

devido força que existe na barra de torção, isto faz com que as pressões em ambos os lados do pistão se igualem e por fim as rodas retornem a uma posição retilínea (CARPES JR; LOSEKANN, 2013).

O sistema é montado de maneira que, caso ocorra a perda de óleo devido a um acidente, a direção ainda possa funcionar. Nesta condição o sistema de direção passa a funcionar como um sistema convencional, o que permite sua utilização até que sejam realizados os reparos necessários.

Os autores Carpes Jr e Losekann (2013) apresentam algumas variações do sistema de direção hidráulica que podem mudar sua configuração e melhorar alguns aspectos, sendo elas:

- Sistema servo-hidráulico. Nesta configuração, a bomba é acionada por meio de um motor elétrico suprido pela bateria do veículo.
- Sistema elétrico. Nesse sistema o motor elétrico está engrenado de forma direta com o sistema direcional do veículo, na maioria dos casos por meio de uma cremalheira. Este motor elétrico é acionado no momento em que o volante é girado, desta forma auxiliando o esterçamento das rodas, isto só é possível devido aos sensores elétricos que indicam a direção na qual o volante está sendo forçado.

2.10 GEOMETRIA DE ACKERMANN

A condição de direção de Ackermann se dá quando um veículo ao realizar um trajeto em torno de um centro de curvatura, a roda interna do veículo terá um ângulo de esterçamento maior que a roda externa (JAZAR, 2008).

Esta condição encontra-se ilustrada na Figura 14.

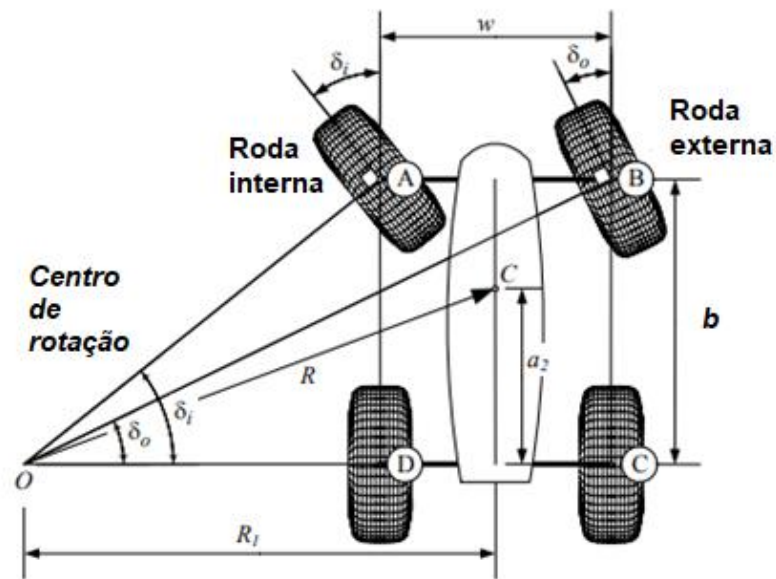


Figura 14 - Condição de Ackermann.
Fonte: Adaptado de Jazar, 2008.

Podendo também ser expressa pela Equação (26)

$$\cot \delta_o - \cot \delta_i = \frac{w}{b} \quad (26)$$

O raio de curvatura é dado pela Equação (27)

$$R = \sqrt{a_2^2 + b^2 \cdot (\cot \delta)^2} \quad (27)$$

Sendo δ é a média das cotangentes dos ângulos de esterçamento interno e externo.

$$\cot \delta = \frac{\cot \delta_o + \cot \delta_i}{2} \quad (28)$$

Onde δ_o e δ_i são os ângulos de esterçamento da roda externa e interna respectivamente, w é a distância entre centros os eixos das rodas de direção, também conhecida como *track* e b é a distâncias entre os centros das rodas dianteiras e traseiras, também chamado de *wheelbase*.

Em seu projeto de desenvolvimento de um sistema de direção de um veículo de competição formula SAE, Bravo (2013) comparou diversos raios de curvatura e os efeitos resultantes em relação aos ângulos de esterçamento das rodas e a porcentagem da geometria de Ackermann desejável. Observou-se que para grandes raios de curvatura, menor seria a porcentagem de Ackermann ideal. A partir de uma geometria ideal, o autor propôs a utilização de um sistema onde é possível ajustar a geometria, o que seria benéfico em caso de necessidade de troca de algum parâmetro que influencie na porcentagem de Ackermann ideal (BRAVO, 2013).

2.11 ALINHAMENTO VEICULAR

2.11.1 Ângulo de Cambagem

O ângulo de cambagem é dito como sendo o ângulo formado entre o plano da roda inclinada e um plano de referência perpendicular ao solo. O valor positivo deste ângulo se dá quando a parte superior da roda está inclinada para fora em relação a uma linha vertical referencial do solo e negativo quando esta inclinação apontar para dentro. Este ângulo produz uma força lateral na direção da inclinação da roda conhecida como força de cambagem que depende de parâmetros como tipo de pneu, piso, formato, pressão, carga, esforços de tração/frenagem (MILLIKEN; MILLIKEN, 1995).

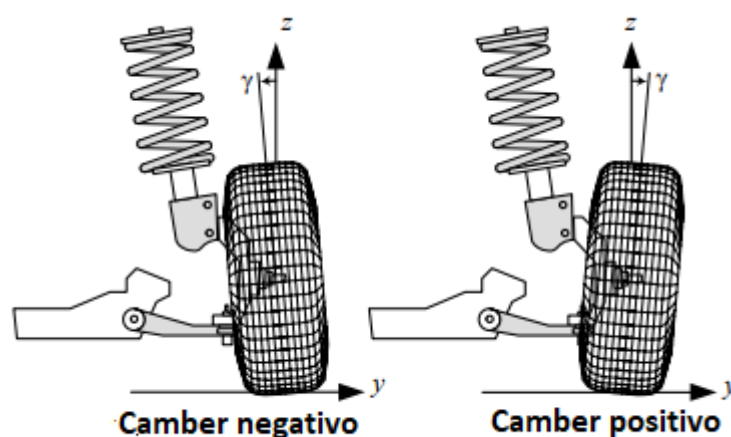


Figura 15 - Cambagem positiva e negativa na roda dianteira.
Fonte: Adaptado de Jazar, 2008.

Em um processo de solicitação constante de uma roda com cambagem, o pneu irá sofrer uma deformação em sua lateral, o que fará com que o lado do pneu com cambagem se torna mais longo que o lado oposto (JAZAR, 2008).

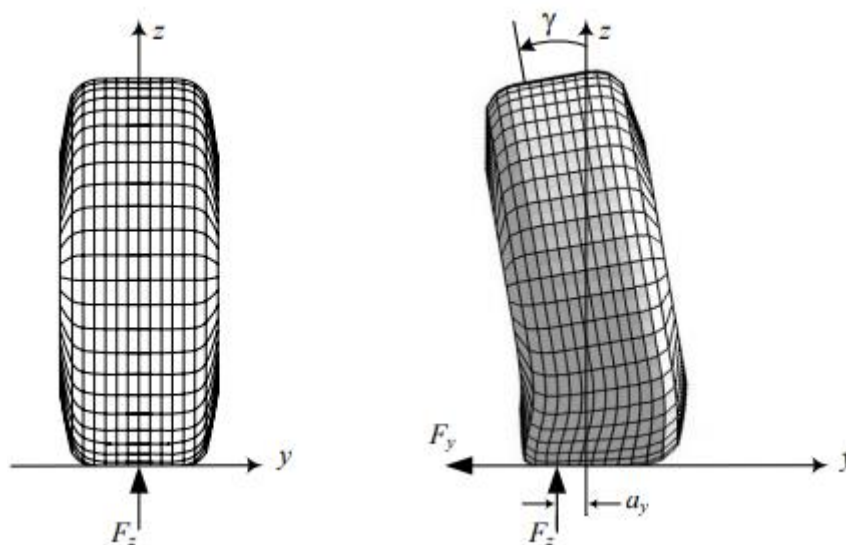


Figura 16 - Efeito da cambagem no pneu
Fonte: Jazar, 2008.

A cambagem tem como função promover uma maior área de contato pneu-solo a fim de que o desgaste do mesmo ocorra de forma uniforme. Na maioria dos casos, é desejado que o ângulo de cambagem seja aproximadamente nulo durante uma trajetória retilínea, o que resulta no aumento da aderência do pneu a pista e otimiza o desempenho das ações de aceleração e frenagem do veículo (CORDEIRO CARVALHO MERLING, 2007).

Configurações de cambagem positiva ou negativa são realizadas com a finalidade de compensar a aderência do pneu com o solo durante curvas, O efeito de carregamentos externos, como por exemplos ocupantes dentro do veículo também levam a necessidade de modificação da cambagem para compensação (RIBEIRO, 2012).

A determinação da melhor faixa de cambagem deve ser feita experimentalmente, por meio da coleta de dados da temperatura interna, central e externa do pneu, onde é desejável que todas sejam aproximadamente a mesma (EGEWARTH, 2009).

2.11.2 Ângulo de Caster

O ângulo de caster é definido como sendo o ângulo formado entre o eixo da direção e uma linha referencial vertical a partir do solo, é a inclinação do eixo seja para frente ou para traz a partir de uma vista lateral (JAZAR, 2008).

O valor positivo de caster ocorre quando o ponto superior do eixo da direção se encontra em uma posição atrás do ponto de contato do solo com pneu, na condição inversa é dito que o valor de caster é negativo (RIBEIRO, 2012).

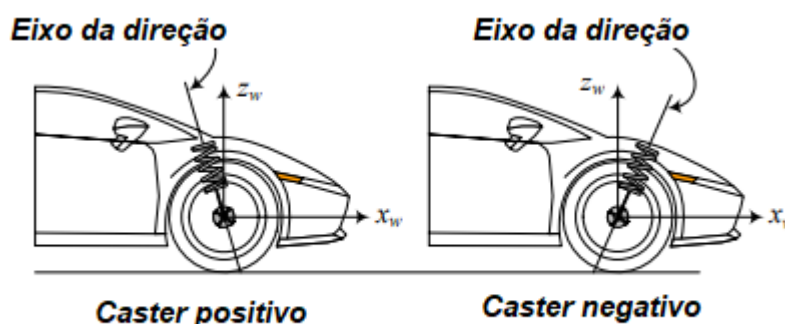


Figura 17 - Configuração de caster negativo e positivo o na roda dianteira.
Fonte: Adaptado de Jazar, 2008.

Um ângulo de caster positivo pode proporcionar efeitos desejáveis, como por exemplo restabelecer o alinhamento das rodas após as curvas, o que gera uma maior estabilidade do veículo em uma trajetória retilínea. Deve-se atentar que valores excessivos de caster positivo podem causar o endurecimento da direção, dificultando a condução do veículo. Para a situação de caster negativo, temos como efeito uma maior facilidade de realizar manobras em baixas velocidades, porém, como

consequência de não existir as solicitações decorrentes de um caster positivo, tem-se uma redução na estabilidade no trajeto em linha reta (EGEWARTH, 2009).

2.12 PRODUTOS CONCORRENTES E SIMILARES

Na busca por produtos similares, encontra-se principalmente os veículos chamados de *non-motorized-walking-bike*, eles são basicamente similares a uma bicicleta sem pedais movidas por tração humana.

2.12.1 Alinker

O produto que mais se assemelha a ideia proposta é o Alinker, que é de uma empresa alemã e que agora alcançou o mercado norte americano.



Figura 18 – The Alinker

Fonte: <https://www.thealinker.com/products/the-alinker-r-volution>.

A empresa fornece sistemas de financiamento para pessoas que não possuem uma renda compatível para adquirir o produto, atualmente o preço se encontra em \$1,977.00. O fabricante não apresenta especificações do produto, apenas a medida recomendada para cada pessoa de acordo com sua altura.

2.12.2 Halfbike

Uma alternativa ao Alinker disponível é a *halfbike*, que consiste em um modelo não convencional de bicicleta, que possui 1 roda dianteira de maior diâmetro e duas traseiras menores. O diferencial deste veículo é possuir pedais, um sistema de engrenagens para transmissão de torque para promover o movimento.



Figura 19 – Halfbike.
Fonte: Catálogo Halfbike, 2019.

Observa-se que já não se trata tanto de uma tecnologia assistiva e sim uma opção de mobilidade urbana, porém, os componentes presentes no produto são similares a proposta de projeto. As especificações do produto serão apresentadas a seguir:

| | |
|------------------|---|
| Chassis | A estrutura é cortada a laser e fabricada em alumínio aeroespacial. Isso o torna leve e forte o suficiente para suportar anos de pilotagem. |
| Freios | Freio de tambor integrado ao cubo |
| Pedivela | Pedivela feito em alumínio com eixo oco para grandes esforços. |
| Pneu | Pneu dianteiro de 18" e traseiros 8" da marca Innova. |
| Peso | 9kg / 19,5 lbs |
| Dimensão dobrada | 100 x 29 x 46 cm / 40 x 12 x 18 polegadas. |
| Engrenagens | Cubo com quatro engrenagens internas da Sturmey Archer |

| | |
|----------------|---|
| Guidão | O guidão é cortado a laser e fabricado em alumínio de classe aeroespacial para garantir uma Halfbike ainda mais forte, resistente e duradoura que permanecerá intacta na chuva ou no sol. |
| Pedais | Pedal da VP pedals. |
| Peso suportado | 95kg / 210lbs |
| Dimensões | 109 x 29 x 95 cm / 43 x 12 x 38 polegadas. |
| Cor | Preta |

Quadro 1 - Especificações da Halfbike.
Fonte: Catalogo Halfbike, 2019.

2.12.3 Andador Comfort SL-309

Uma opção encontrada no mercado brasileiro é o Andador para Idoso com 3 Rodas Comfort SL-309. Ele é em sua maior parte feito de alumínio, o que reduz seu peso, suas 3 rodas são de borracha e possui também um sistema genérico de frenagem, com trava nas rodas traseiras. Possui a vantagem de ser dobrável, o que permite uma maior comodidade para transportá-lo em carros e outros veículos.

Na página oficial da Casa Ortopédica é possível encontrar sua altura, que é ajustável de 82 a 88 cm, e possui um peso de 5 kg. Outras informações técnicas não são disponibilizadas para o público.



Figura 20 - Andador Comfort SL-309.
Fonte: Página oficial Casa Ortopédica, 2019.

2.12.4 Andador 4 Rodas Superlux

Este produto, também disponível no mercado brasileiro se diferencia dos demais por possuir 4 rodas. A empresa fornece uma ficha técnica com as especificações do produto.

| | |
|-----------------------|---|
| Chassis | Confeccionado em alumínio |
| Freios | Freio na manopla, possibilidade de regulagem da altura do manete de freio |
| Rodas | 4 rodas 8" em PU maciço |
| Peso máximo | 130 kg |
| Outras especificações | Totalmente dobrável |
| | Bolso removível para guardar pertences |
| | Suporte para bengalas e guarda-chuva |
| | Assento em lona |
| | Ideal para pessoas até 1,85m |

Quadro 2 - Especificações do Andador Superlux.
Fonte: Página oficial da Mobil Saúde, 2019.



Figura 21 – Andador Superlux.
Fonte: Página oficial da Mobil Saúde, 2019.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do produto será utilizado uma adaptação da metodologia proposta por Rozenfeld et al (2006), onde não serão realizadas algumas das etapas propostas pelo mesmo, de forma a aproximar a abordagem utilizada neste trabalho.

Na fase de projeto detalhado será feita uma aproximação do modelo ilustrado por Budynas e Nisbett (2011).

3.1 PROJETO INFORMACIONAL

3.1.1 Escopo do Produto

Como já citado nos tópicos anteriores, há uma crescente demanda por tecnologias e equipamentos que buscam facilitar a vida cotidiana das pessoas que possuem limitações em suas capacidades motoras, devido a isto, o objetivo inicial é o desenvolvimento de protótipo andador no formato de um triciclo para auxiliar na mobilidade das pessoas que estão com dificuldade para realizar o ato de caminhar por conta própria. A movimentação do veículo se daria por meio de tração humana, de um modo que não exija um esforço grande por parte do usuário.

Parte dos componentes escolhidos para compor o protótipo são encontrados comumente no mercado, como por exemplo o guidão, banco e etc.

Os desafios encontrados para a produção do protótipo estão relacionados com a locomoção do mesmo em qualquer tipo de terreno, proporcionando uma estabilidade para o usuário e também evitando o tombamento ou outro tipo de acidente que pode decorrer de alguma diversidade encontrada no trajeto, para isso, a procura por um pneu que possa se adaptar as diferentes situações encontradas no dia a dia é uma das partes mais importantes do projeto.

Um sistema de auto travamento é essencial para evitar que o veículo desça durante um trajeto íngreme, e que o risco de acidentes durante um percurso de subida seja minimizado. Situações como falta de força para subir e/ou algum imprevisto que faça cessar o avanço são comuns durante a marcha, por isso, com isso surge a ideia

de implementar um sistema comum de auto travamento para proporcionar uma maior segurança.

3.1.2 Tecnologias Disponíveis e Necessárias

O dimensionamento do modelo será realizado com base em componentes já existentes e disponíveis no mercado.

Os componentes que deverão ser unidos para formar a geometria desejada passarão pelo processo de soldagem MIG, utilizando argônio como gás de proteção para peças de alumínio e argônio + CO₂ para peças em aço.

O procedimento de corte a laser e conformação mecânica também serão necessários para produção de algumas partes do protótipo.

3.1.3 Norma Regulamentadora

Em todo desenvolvimento de projeto, normas devem ser seguidas a fim de garantir a segurança, para o desenvolvimento deste projeto a principal norma utilizada como fonte consulta é a norma ABNT NBR 9050:2015

Esta norma estabelece critérios e parâmetros técnicos a serem observados quanto ao projeto, construção, instalação e adaptação ao meio urbano e rural, e de edificações as condições de acessibilidade.

Nela é possível encontrar dimensões referenciais de tecnologias assistivas como cadeiras de rodas, bengalas e as dimensões totais de uma pessoa utilizando essas tecnologias.

3.2 PROJETO CONCEITUAL

3.2.1 Arquitetura do Produto

Para o projeto de concepção da arquitetura do produto, foram observadas dimensões de outros produtos já existentes e também os processos disponíveis para fabricação e também respeitando a norma ABNT NBR 9050.

No procedimento de modelagem dos componentes utilizou-se o *software* CAD *SolidWorks*, onde cada componente foi dimensionado separadamente e posteriormente montando para chegar ao modelo final.

De acordo com produtos disponíveis no mercado o projeto inicial passou por adaptações para alcançar um modelo que poderia ser produzido com maior facilidade e ser de um custo acessível.

A listagem dos componentes do protótipo encontra-se posteriormente na seção de orçamentos, na Figura 16. Aqueles que não se encontram na Figura 18 são aqueles que já estão disponíveis no mercado na sua condição final, como por exemplo os pneus, freios e etc. O esboço do modelo final após a montagem encontra-se representado a seguir na Figura 22 e 23



**Figura 22 - Esboço do modelo final.
Fonte: Autor**



Figura 23 - Modelo renderizado.
Fonte: Autor.

3.3 ANÁLISE DE TENSÕES EM PEÇAS

Como citado anteriormente existem ferramentas computacionais CAE que podem auxiliar no procedimento de análise e identificação das tensões as quais os componentes do protótipo serão submetidos.

Como forma de validação dos cálculos analíticos que serão realizados posteriormente, optou-se por utilizar o SimulationXpress, sendo este um software CAE integrado ao SolidWorks que permite a realização de uma análise por elementos finitos. Variadas condições de carregamento possíveis sobre cada componente do protótipo podem ser simuladas e desta forma pode-se prever o comportamento do mesmo nestas condições. Com base nos resultados obtidos podem ser realizadas mudanças no modelo original pra que ele seja aprimorado (TAVARES; FONSECA, 2014).

No documento publicado por Tavares e Fonseca (2014), são listadas algumas vantagens em utilizar este tipo análise:

- Redução nos ciclos de desenvolvimento do protótipo, que em sua maioria são caros e longos
- O custo devido a cada teste é reduzido devido a este tipo de procedimento de análise permitir a aproximação do modelo através de cálculos computacionais, o que reduz o número de ensaios.

- Redução no tempo de entrada no mercado.
- Auxilia na tomada de decisão final, pois facilita a otimização do projeto, por meio de simulação dos diversos cenários possíveis.
- A maioria das soluções analíticas existentes são para problemas simplificados, onde muitas das vezes não correspondem a casos reais, sendo necessário um *software* que possa prover soluções para casos mais complexos.

3.3.1 Análise de Elementos Finitos

O *software* SimulationXpress utiliza o método dos elementos finitos FEM para o procedimento de análise, também conhecido como *Finite Element Analysis* (FEA). Este método permite solucionar problemas de qualquer natureza, sejam complexos ou simples. Nota-se que se trata de uma solução aproximada, este método aborda a situação de equilíbrio estrutural considerando um sistema discreto.

A discretização de um sistema contínuo considera que a divisão da estrutura em partes separadas distintas conhecidos como elementos, conectadas entre si nos pontos discretos que são denominados nós do modelo. Com isso são geradas diversas equações algébricas a partir da condição de equilíbrio de cada elemento, sendo possível a resolução simultânea dessas equações por meio computacional, obtendo assim os deslocamentos nodais, que são convertidos para determinar os esforços internos, tensões e avaliar a resistência da estrutura (FILHO, 2013).

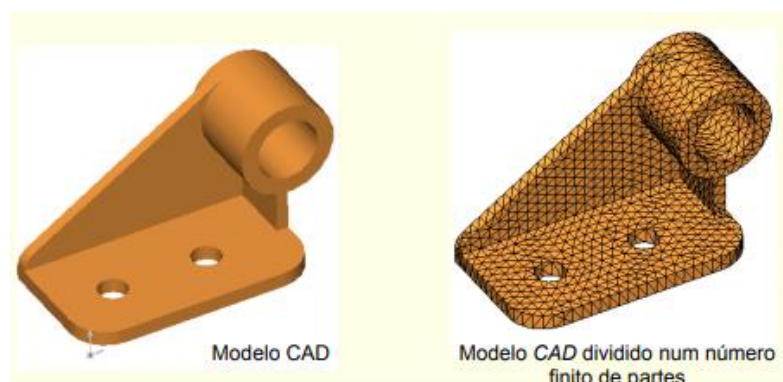


Figura 24 - Modelo CAD e Modelo CAD dividido em elementos finitos.
Fonte: Tavares e Fonseca, 2014.

O *software* em questão estabelece o equacionamento que comandam o comportamento de cada elemento, levando em consideração as interações entre os

diversos elementos. O equacionamento associa as incógnitas presentes no sistema, como deslocamento de cada nó nas direções X, Y e Z, que estão relacionadas com as propriedades do material e aos carregamentos aplicados (TAVARES; FONSECA, 2014).

Este método de análise considera um comportamento linear do material, ele permite a determinação de deslocamentos, deformações, tensões e até mesmo das reações nas ligações exteriores. Pode-se prever quando o material irá falhar a partir de uma tensão máxima por meio de uma análise estática, onde cada material possui um limite característico da sua natureza.

Uma possível abordagem, para materiais dúcteis em condições onde existe uma combinação de tensões normais e de cisalhamento é comum expressar esses esforços na forma de uma tensão equivalente, esta tensão é conhecida como tensão equivalente de von Mises (NORTON, 2013).

Esta tensão é dada pela Equação (29) apresentada a seguir:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \quad (29)$$

Onde σ e τ são as componentes de tensão normal e cisalhamento respectivamente, sendo os subscritos indicadores da direção ao plano correspondente (primeiro subscrito) e direção de ação (segundo subscrito) (NORTON, 2013).

Os autores Tavares e Fonseca (2014) propõem um passo a passo para que se realize a análise que serão mostradas a seguir:

- Definir o material do qual a peça é feita
- Especificar as ligações. Quais faces do componente são fixas, aplicando a restrição dos movimentos.
- Aplicar os carregamentos no qual as peças serão submetidas na forma de forças ou pressões.
- Realizar os cálculos por meio das equações de análise.
- Observar os resultados, como por exemplo o coeficiente de segurança obtido, deslocamentos e tensões resultantes

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Durante a elaboração deste trabalho, surgiu-se a oportunidade de desenvolvimento e fabricação do protótipo inicial em conjunto com a equipe de projetos pré-incubados nos Hotéis Tecnológicos (HT), onde foram disponibilizados bolsas como forma de auxílio, advindas da instituição UTFPR, com supervisão da Pró-Reitoria de Relações Empresariais e Comunitárias (PROREC) e a Diretoria da Agência de Inovação (DIRAGI).

A equipe de projetos pré-incubados deveria seguir uma série de requisitos e deveres para participar desta oportunidade e desta forma receber o auxílio para construção do protótipo, um desses requisitos era obedecer a um cronograma onde os resultados deveriam ser apresentados até o início de novembro de 2019. A partir destas imposições, foi necessário a fabricação do protótipo, o que resultou no adiantamento de uma das etapas que inicialmente seria proposta para o TCC 2.

O resultado preliminar obtido foi o protótipo apresentado na Figura 25.



Figura 25 – Protótipo.
Fonte: Autor.

4.1 ORCAMENTO

O controle dos suprimentos utilizado para a fabricação do protótipo encontra-se disponibilizado na Figura 26.

| Item | Usinagem | Solda | Corte Laser | Dobra | Pintura | Quantidade | Material | Dimensões | Dimensão Compra | Fornecedor |
|-------|----------|-------|-------------|-------|---------|------------|---------------|------------------|------------------|-----------------|
| 00001 | x | | | | | 2 | Aluminio 6351 | Ø1'1/2" x 160 | Ø1 1/2" x 320 mm | |
| 00002 | | | x | | x | 3 | Aço 1020 | #2,00 mm | # 2,00 mm | EXA Metalúrgica |
| 00003 | x | | | | | 3 | Aluminio 6351 | Ø4" x 35 mm | Ø4" x 105 mm | |
| 00004 | | | x | | x | 3 | Aço 1020 | #3,00 mm | #3,00 mm | EXA Metalúrgica |
| 00005 | x | | | | | 18 | Aluminio 6351 | Ø5/16" x 35 mm | Ø5/16" x 630 mm | |
| 00006 | | x | x | x | x | 2 | Aço 1020 | #3,00 mm | #3,00 mm | EXA Metalúrgica |
| 00007 | x | | | | | 4 | Aluminio 6351 | Ø7/8" x 25 mm | Ø7/8" x 100 mm | |
| 00008 | | | x | x | x | 4 | Aço 1020 | #3,00 mm | #3,00 mm | EXA Metalúrgica |
| 00009 | x | | | | | 4 | Aluminio 6351 | Ø7/8" x 25 mm | Ø7/8" x 100 mm | |
| 00010 | x | | | | | 1 | Aluminio 6351 | Ø3" x 120 mm | Ø3" x 120 mm | |
| 00011 | | x | x | | x | 1 | Aço 1020 | #1,20 mm | # 1,20 mm | EXA Metalúrgica |
| 00012 | | x | x | | x | 1 | Aço 1020 | #1,20 mm | # 1,20 mm | EXA Metalúrgica |
| 00013 | | x | x | | x | 2 | Aço 1020 | #1,20 mm | # 1,20 mm | EXA Metalúrgica |
| 00014 | | X | X | | x | 1 | Aço 1020 | #1,20 mm | # 1,20 mm | EXA Metalúrgica |
| 00015 | | x | x | | x | 1 | Aço 1020 | #1,20 mm | # 1,20 mm | EXA Metalúrgica |
| 00016 | X | x | | | | 1 | Aluminio 6351 | Ø1 3/4" x 260 mm | Ø1 3/4" x 260 mm | |
| 00017 | x | x | | | | 1 | Aluminio 6351 | Ø1 1/4" x 760 mm | Ø1 1/4" x 760 mm | |
| 00018 | | | x | x | x | 1 | Aço 1020 | #3,00 mm | #3,00 mm | EXA Metalúrgica |
| 00019 | x | x | | | | 2 | Aluminio 6351 | Ø1/2" x 145 mm | Ø1/2" x 145 mm | |
| 00020 | x | x | | | | 1 | Aluminio 6351 | Ø1 1/4" x 70 mm | Ø1 1/4" x 70 mm | |
| 00021 | | x | x | | x | 1 | Aço 1020 | #1,20 mm | # 1,20 mm | EXA Metalúrgica |
| 00022 | | | x | | x | 1 | Aço 1020 | #6,35 mm | #6,35 mm | EXA Metalúrgica |
| 00023 | x | | | | | 1 | Aluminio 6351 | Ø1'1/2" x 185 | Ø1 1/2" x 185 mm | |

Figura 26 - Controle de suprimentos.

Fonte: Autor

Os componentes foram adquiridos por meio dos recursos da UTFPR, os processos de soldagem, usinagem e pintura foram realizados nos laboratórios da própria instituição UTFPR-Londrina, as peças que exigiram os processos de corte a laser e dobramento foram adquiridas da empresa EXA Metalúrgica, localizada em Ibiporã-PR.

5. PROJETO DETALHADO

Nesta etapa são apresentados os cálculos e premissas para modelagem do protótipo, seguindo a sequência proposta por Budynas e Nisbett (2011).

5.1 IDENTIFICAÇÃO DE NECESSIDADE

Como já discutido, há uma enorme necessidade por produtos voltados a pessoas que possuem limitações motoras, cada vez mais essa demanda tende a crescer, o que torna o desenvolvimento de soluções para atender estas demandas algo indispensável.

Mesmo já existindo alguns produtos mais simples que buscam atender parte desse público, ainda não se pode dizer que não exista a procura por novas ideias que tragam diferentes tipos de abordagem, muitas dos quais tentam conciliar conforto, segurança e lazer.

5.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O problema definido é relacionado ao projeto de um andador com uma estrutura similar a um triciclo para usuários que tem sua mobilidade limitada, devido a alguma deficiência em seus membros inferiores ou restrição momentânea dos mesmos. Como se trata de um veículo que possui um sistema de direção e frenagem, o usuário não poderá apresentar limitações no movimento dos seus membros superiores, afim de que o protótipo seja utilizado de forma segura.

A proposta é que além de ter como funcionalidade principal o seu uso como sendo uma TA, o protótipo possa ser utilizado para fins de lazer, podendo atuar em situações de solo asfaltado, calçadas de parques e até mesmo em pistas irregulares.

O veículo em questão deverá ser de fácil manuseio, totalmente estável e também proporcionar um bom grau de conforto, que possibilitaria ao usuário usá-lo por longos períodos. A normas citadas anteriormente no texto deverão ser respeitadas para sua construção.

Por fim, suas peças devem ser escolhidas a fim de garantir a fácil substituição, em questão de custo e disponibilidade.

5.3 SÍNTESE

5.3.1 Definição de dados de entrada

Deve-se definir alguns parâmetros de entrada iniciais para que seja possível desenvolver o procedimento de dimensionamento do veículo, assim determinando todas as variáveis existentes no projeto.

Para o ângulo de Camber, definiu-se o ângulo como sendo 8° negativo, o que proporcionaria uma maior estabilidade em relação ao positivo e melhor controle durante a curva, porém, o protótipo conta com um sistema de cambagem variável, por meio de articulações. O ângulo de Caster escolhido foi de 0° , que caracteriza uma configuração neutra.

Para o protótipo atender uma maior faixa de peso, estipulou-se uma carga máxima de 100kg, que poderá ser aumentada caso durante as simulações verifique-se uma maior capacidade dos componentes.

A velocidade máxima estipulada foi de 15 km/h, que é a velocidade estipulada por norma para outras tecnologias assistivas relacionadas a mobilidade, como as cadeiras de rodas, segundo a norma ABNT NBR ISO 7176-1:2018.

5.3.2 Premissas

A seguir serão listadas as premissas assumidas para o desenvolvimento do protótipo

- Todos materiais apresentam comportamento isotrópico (Suas propriedades são iguais em todas as direções);
- Valores das propriedades físicas do material (como o limite de escoamento, resistência a tração, densidade e etc.) são obtidas por meio do Software SolidWorks.

- A escolha das peças será feita de acordo com a disponibilidade dos fornecedores.

5.3.3 Decisões iniciais de projeto

Para a modelagem dos componentes do protótipo, foi utilizado o software CAD SolidWorks. Para a simulação utilizou-se um suplemento do SolidWorks, o aplicativo CAE Simulation, uma versão que conta com mais funcionalidades que o SimulationXpress citado anteriormente.

A carenagem do protótipo é feita por 8 chapas de aço AISI 1020 com 1mm de espessura de parede, para que o conjunto seja leve. Essas chapas são submetidas ao processo de dobra e corte a laser para alcançar sua geometria final.

A caixa de direção é composta por chapas de aço AISI 1020, um cubo de alumínio 4032-T6, onde encontra-se assentado um rolamento rígido de esferas.

O tubo do assento (tubo canote) é feito de aço AISI 1020 de 1 ¼". O disco de freio também é confeccionado em aço AISI 1020, passando pelo processo de corte a laser devido a sua complexidade.

As 3 rodas escolhidas são iguais e possuem o aro 6", modelo que é utilizado comumente em carrinhos de carga, quadriciclos e triciclos. A instalação da mesma é feita com a angulação de 8°, porem, podendo variar devido conjunto articulado.

Os demais componentes como por exemplo rolamentos, banco, pneus, parafusos, freio, guidão e etc., são comercializados em sua forma final, encontrados com facilidade no mercado.

5.4 CROQUIS DE PROJETO

Nas Figuras 27 e 28 são apresentados os componentes de maior importância do protótipo, por se tratar de um croqui, elementos como por exemplo os cabos do freio estão ocultos.

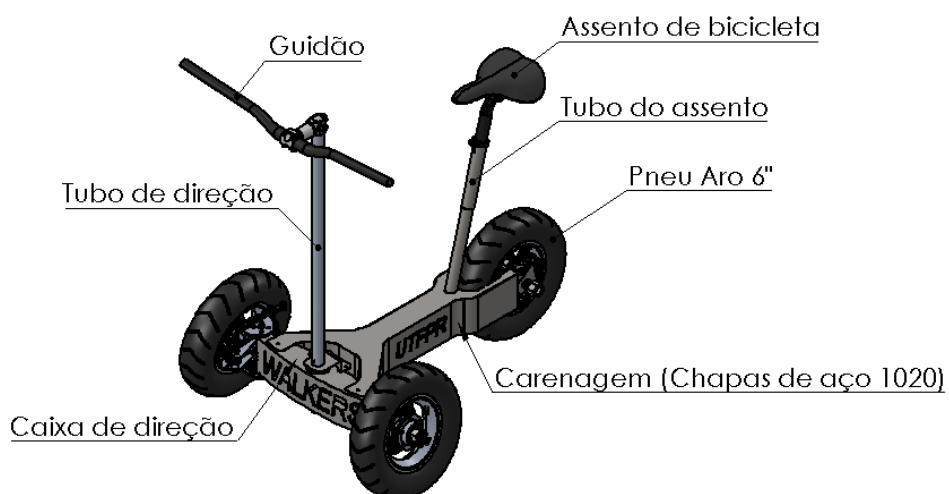


Figura 27 - Vista isométrica do protótipo.
Fonte: Autor

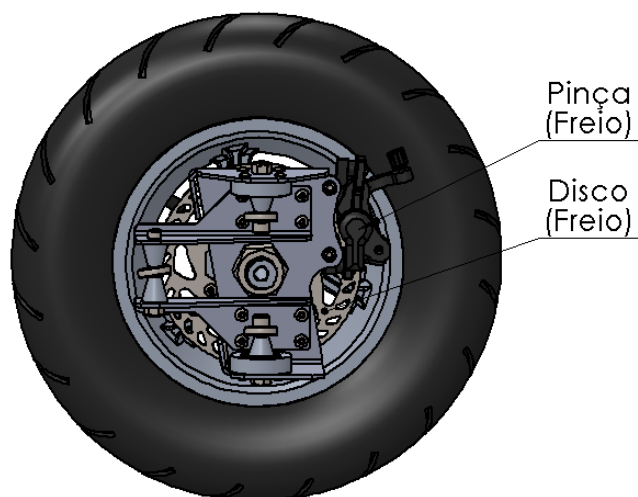


Figura 28 - Componentes do protótipo.
Fonte: Autor.

A seção de croquis de projeto tem como objetivo ilustrar a ideia pensada pelo projetista, não apresentando as dimensões do protótipo, apenas mostra sua geometria, aparência e seus componentes.

5.5 MODELAGEM MATEMÁTICA

Por se tratar de um veículo *trike* não motorizado, não foi possível encontrar uma norma que regulamentasse as dimensões do mesmo, diferente de uma cadeira de rodas, onde é possível encontrar faixas de largura, altura e comprimento.

O comprimento do protótipo foi definido de acordo com a dimensão de um adulto de aproximadamente 1,80 de altura.

5.5.1 Ângulo de Camber e Dimensões

Para definição de largura e ângulo de camber, primeiramente definiu-se a largura da carenagem do protótipo sem as rodas, que pode ser vista na Figura 29.

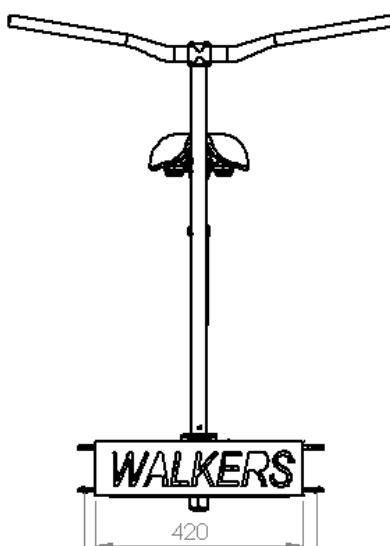


Figura 29 - Largura do protótipo.
Fonte: Autor

Para a largura da carenagem do protótipo, teve-se como base a norma ABNT NBR 9050:2004, fazendo uma equivalência entre a largura do assento da cadeira e a carenagem. A norma estabelece esse valor como sendo de 0,4 a 0,46m, fixando esse valor em 0,42m, pode-se calcular o valor de largura máxima e o ângulo de camber do protótipo. A distância entre centro dos pinos é de 0,4782m, a distância entre o lado externo da roda e o centro do pino de acoplamento é de 0,1305m (largura do conjunto roda-acoplamento), desta forma a largura do protótipo com a roda totalmente horizontal é de 0,7392m. como visto na Figura 30.

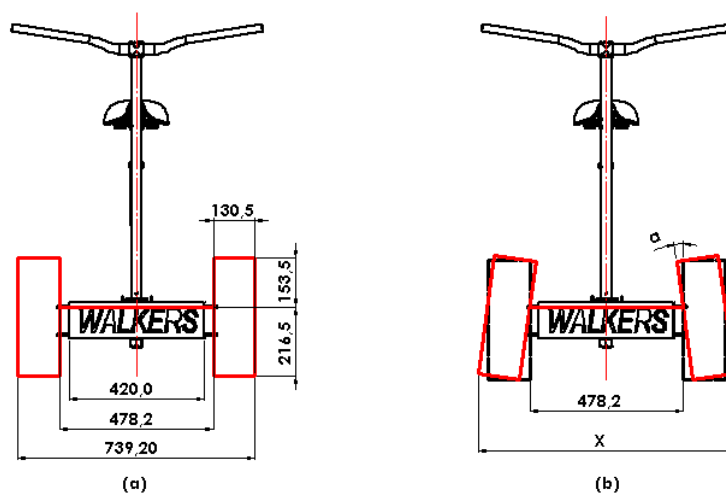


Figura 30 - Largura máxima do protótipo.
Fonte: Autor.

A partir de relações trigonométricas obtém-se a Equação (30) para determinar a largura máxima do protótipo.

$$X = 739,20 + 2 \cdot 216,5 \cdot \sin a \quad (30)$$

A Tabela 1 apresenta os valores da largura variando o ângulo de camber do protótipo.

Tabela 1 - Largura e do protótipo em função do ângulo de camber.

| Camber (a) [°] | Largura (x) [m] |
|----------------|-----------------|
| 0 | 739,20 |
| 1 | 746,76 |
| 2 | 754,31 |
| 3 | 761,86 |
| 4 | 769,40 |
| 5 | 776,94 |
| 6 | 784,46 |
| 7 | 791,97 |
| 8 | 799,46 |
| 9 | 806,93 |
| 10 | 814,39 |

Fonte: Autor.

A ideia é a de que o protótipo possa ser utilizado em ambientes fechados, que possuam portas, elevadores e etc. Com base nisto levou-se em conta a largura comum de uma porta (82 cm), sendo assim qualquer ângulo de cambagem negativa entre 0 a 10 poderia ser utilizado, pois, a largura máxima do protótipo seria menor, com isto optou-se pelo ângulo de -8° que era o definido em projeto inicialmente, desta forma a largura máxima do protótipo é de 0,7995m.

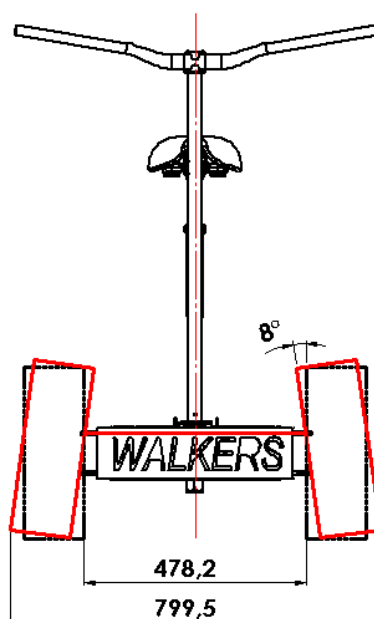


Figura 31 - Largura final do protótipo.
Fonte: Autor.

Para definir o comprimento do protótipo foi utilizado as dimensões de um usuário com aproximadamente 1,80m de altura. A distância entre o guidão e o banco deveria ser a que o usuário não fique com os braços totalmente flexionados, que garanta um menor desconforto, permitindo maior tempo ininterrupto de uso do protótipo sem causar fadiga nos membros superiores.

Desta forma foi utilizando um boneco ergonômico, colocado na posição em que a pessoa deveria ficar para utilizar o andador, com isto, estipulou-se as distâncias de comprimento do mesmo, como mostrado na Figura 32

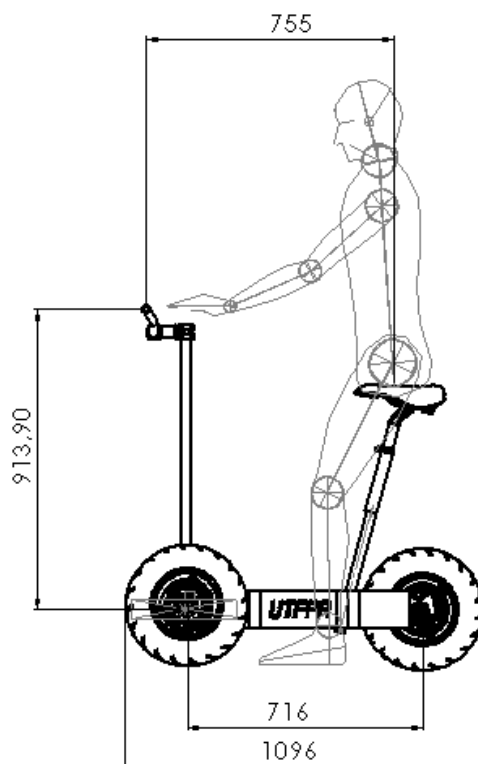


Figura 32 - Comprimento do protótipo.
Fonte: Autor.

5.5.2 Centro de massa

Para determinar o centro de massa do conjunto protótipo-usuário, primeiramente deve-se encontrar o CG de cada um separadamente.

Como premissa inicial para o cálculo de centro de massa, determina-se que o ponto referencial se dê na origem do sistema ($x = 0$, $y = 0$ e $z = 0$), existindo também uma simetria em relação ao eixo z .

5.5.2.1 CG do usuário

Existem diversas formas de calcular o centro de massa por meio de técnicas que envolvem equilíbrio. Uma das formas mais utilizadas é método dos segmentos (JOSEPH HAMILL; KATHLEEN M. KNUTZEN; TIMOTHY R. DERRICK, 2016).

Essa técnica consiste em calcular o centro de massa dos segmentos separadamente para posteriormente determinar o centro de massa do sistema total.

Na Figura 33 podemos ver estimativas de comprimentos de partes do corpo em função da estatura H do indivíduo.

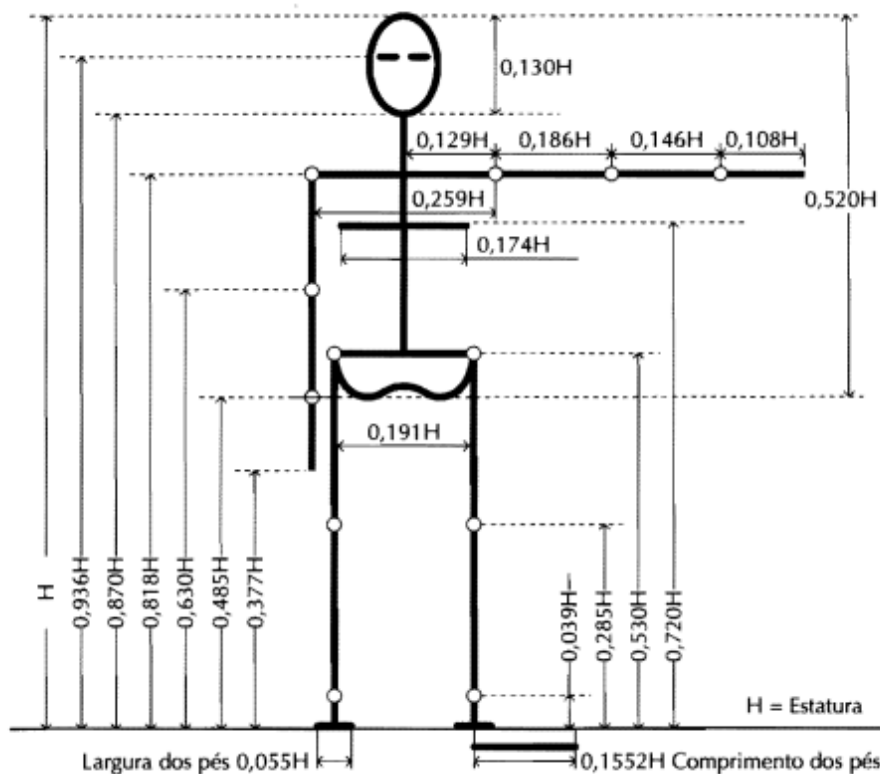


Figura 33 - Comprimentos dos segmentos corporais expressos como fração da estatura.
Fonte: Hamill, Knutzen e Derrick (2016).

Para calcular o centro de massa do segmento deve-se conhecer as coordenadas próximas e distais, assim como a porcentagem de comprimento em que o centro de massa está localizado no segmento.

A Figura 34 ilustra a representação de um seguimento genérico para determinação do centro de massa do mesmo

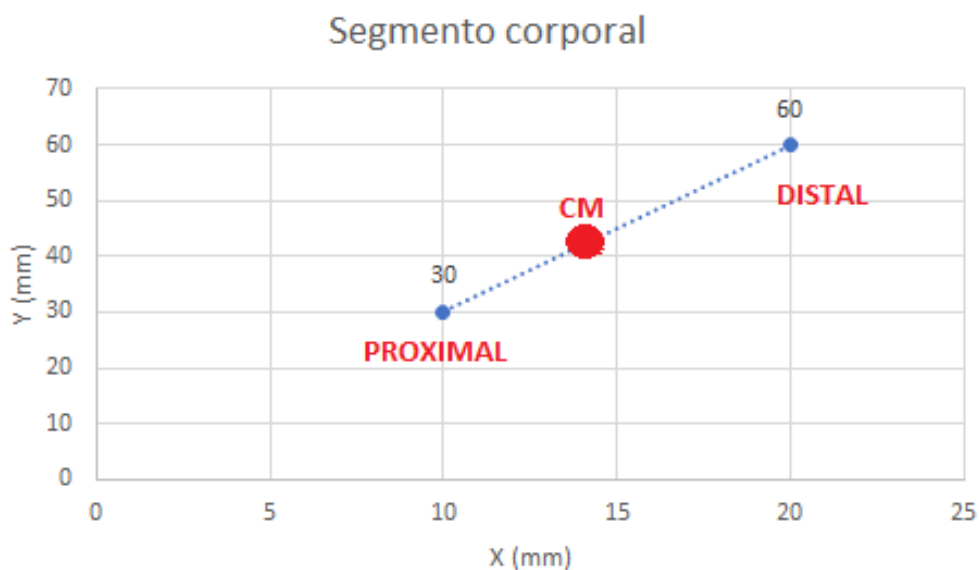


Figura 34 - Representação para cálculo de centro de massa de um segmento genérico.
Fonte: Autor.

As coordenadas do centro de massa podem ser determinadas pelas seguintes relações (JOSEPH HAMILL; KATHLEEN M. KNUTZEN; TIMOTHY R. DERRICK, 2016).

$$CM_x = X_{proximal} - (\% Comprimento) \cdot (X_{distal} - X_{proximal}) \quad (31)$$

$$CM_y = Y_{proximal} - (\% Comprimento) \cdot (Y_{distal} - Y_{proximal}) \quad (32)$$

A Figura 35 mostra as coordenadas proximais e distais dos segmentos obtidas a partir da Figura 33 com base em uma pessoa de 1,80m, na posição em que o usuário deverá estar para utilizar o protótipo, nota-se que todos os valores são dados em milímetros.

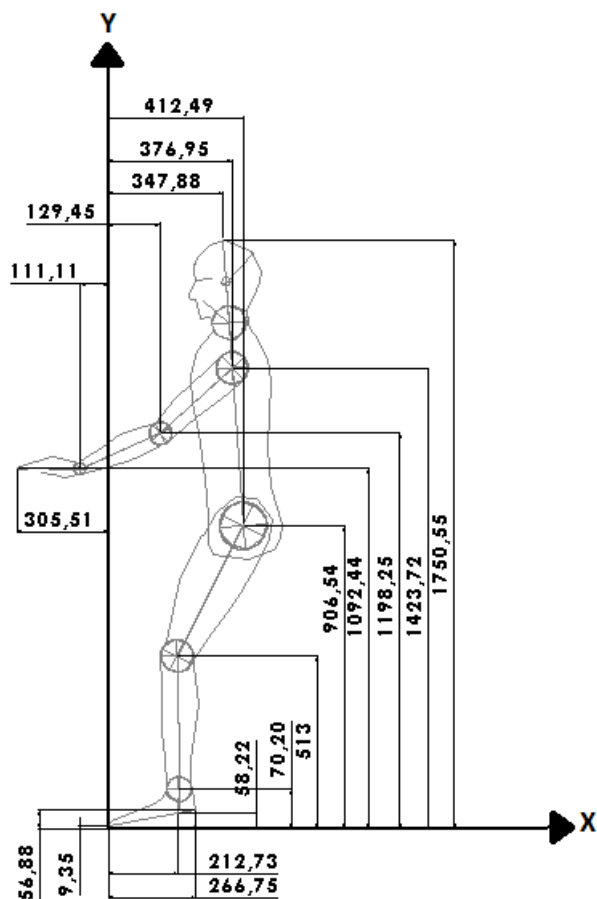


Figura 35 - Coordenadas dos segmentos corporais.
Fonte: Autor.

Na Tabela 2 encontram-se os valores da porcentagem de comprimento C_i de cada segmento, obtidos nos ensaios de Dempster (1955) e também as coordenadas de cada segmento, assim como o centro de massa calculado por meio das equações (31) e (32).

Tabela 2 - Cálculo do CG de cada segmento.

| Segmento Corporal | C_i [%] | X_p [mm] | X_d [mm] | Y_p [mm] | Y_d [mm] | CM_x [mm] | CM_y [mm] |
|-------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Cabeça, pescoço | 50,00 | 347,88 | 376,95 | 1423,72 | 1750,55 | 362,42 | 1587,14 |
| Tronco | 45,00 | 347,88 | 412,49 | 906,54 | 1423,72 | 376,95 | 1139,27 |
| Braços | 43,60 | 129,45 | 347,88 | 1198,25 | 1423,72 | 224,69 | 1296,55 |
| Antebraços | 43,00 | -111,11 | 129,45 | 1092,44 | 1198,25 | -7,67 | 1137,94 |
| Mãos | 49,40 | -111,11 | -305,51 | 1092,44 | 1092,44 | -207,14 | 1092,44 |
| Coxas | 43,30 | 212,73 | 412,49 | 513,00 | 906,54 | 299,23 | 683,40 |
| Pernas | 43,30 | 212,73 | 212,73 | 70,20 | 513,00 | 212,73 | 261,93 |
| Pés | 42,90 | 0,00 | 266,75 | 9,35 | 56,88 | 114,44 | 29,74 |

Fonte: Adaptado de Hamill, Knutzen e Derrick (2016).

Na Tabela 3 encontram-se os parâmetros necessários para determinar o centro de massa do corpo inteiro do usuário de 100 kg, como massa de cada membro, seu centro de gravidade e o produto dos mesmos.

Tabela 3 - Parâmetros para cálculo do centro de massa do usuário.

| Segmento Corporal | m_i [%] | m_i [kg] | CM_x [mm] | CM_y [mm] | m_i · CM_x [mm·kg] | m_i · CM_y [mm·kg] |
|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|---|
| Cabeça, pescoço | 7,90 | 7,90 | 362,42 | 1587,14 | 2.863,08 | 12.538,37 |
| Tronco | 51,10 | 51,10 | 376,95 | 1139,27 | 19.262,37 | 58.216,75 |
| Braços | 5,40 | 5,40 | 224,69 | 1296,55 | 1.213,30 | 7.001,40 |
| Antebraços. | 3,20 | 3,20 | -7,67 | 1137,94 | 24,54 | 3.641,40 |
| Mãos | 1,20 | 1,20 | -207,14 | 1092,44 | 248,57 | 1.310,93 |
| Coxas | 19,40 | 19,40 | 299,23 | 683,40 | 5.804,99 | 13.258,01 |
| Pernas | 9,00 | 9,00 | 212,73 | 261,93 | 1.914,57 | 2.357,39 |
| Pés | 2,80 | 2,80 | 114,44 | 29,74 | 320,42 | 83,27 |
| Σ | 100 | 100 | | | 31.105,62 | 98.407,52 |

Fonte: Adaptado de Hamill, Knutzen e Derrick (2016).

Para calcular o centro de massa global do usuário utiliza-se as seguintes equações

$$x_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot CM_x}{m} \quad (32)$$

$$y_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot CM_y}{m} \quad (33)$$

Desta forma, temos que

$$x_{CM} = 311,06 \text{ mm e } y_{CM} = 984,08 \text{ mm}$$

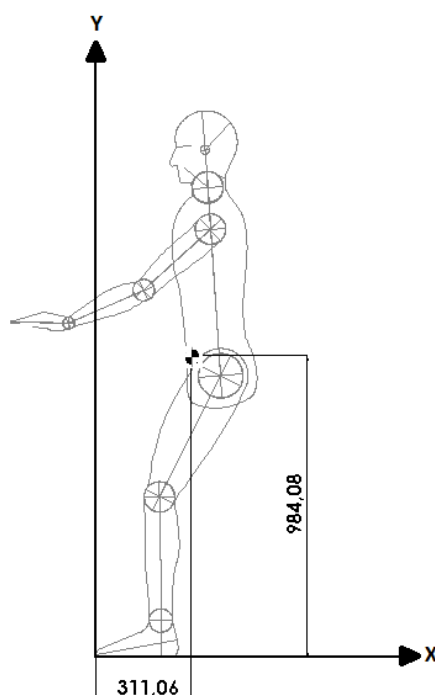


Figura 36 – CG global do usuário.
Fonte: Autor.

Unidades em milímetros.

5.5.2.2 CG do protótipo

O CG do protótipo apresenta grande complexidade para ser calculado de forma analítica, pois, possui diversos elementos, como por exemplo parafusos, rolamentos, anéis elásticos e etc. Em resposta a isso utilizou-se o próprio software CAD *SolidWorks*, ele possui mecanismos que calculam as coordenadas do CG de forma automática, para isso deve-se informar o material de cada componente, a partir disso é associada a massa aos mesmos.

O protótipo não possui uma simetria no plano XY, porem esse deslocamento pode ser considerado irrelevante, pois, são elementos de massa desprezível que causam essa condição, com isto assume-se que o mesmo possua essa simetria.

A massa do protótipo obtida por meio do software foi de aproximadamente 30,33 kg.

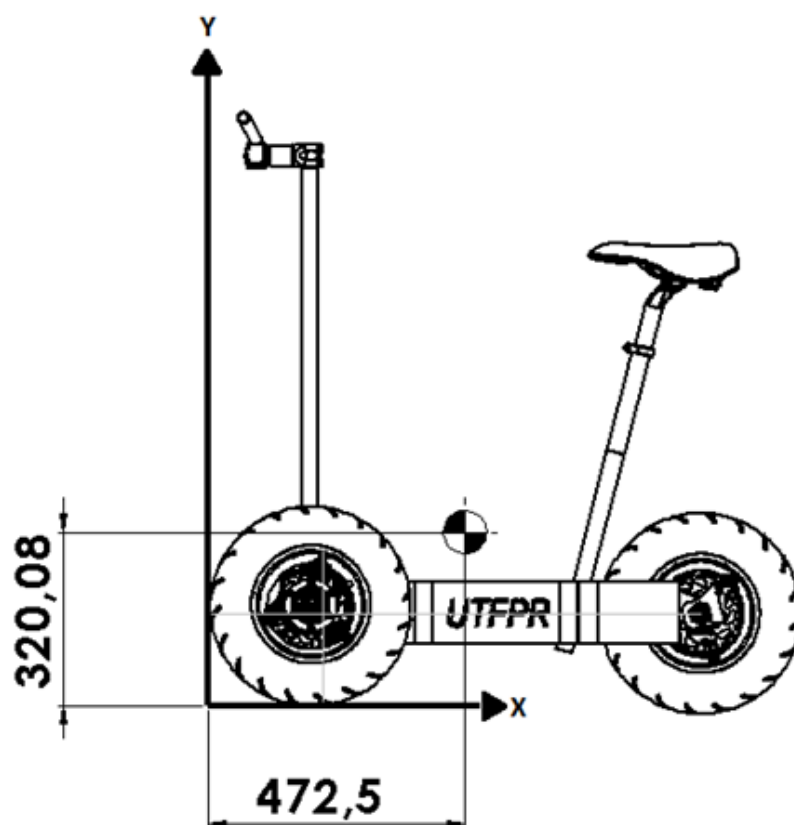


Figura 37 - CG do protótipo.
Fonte: Autor.

$$x_{CM} = 472,5 \text{ mm e } y_{CM} = 320,08 \text{ mm}$$

5.5.2.3 CG do sistema protótipo-usuário

Calculados os CG do protótipo e do usuário separadamente pode-se determinar o CG do sistema composto pelos mesmos. Para isto os eixos coordenados x e y foram deslocados, de forma que ele seja posicionado no mesmo local que na Figura 37, porém, a posição e relações do CG individual de cada elemento é mantido, como mostrado na Figura 38.

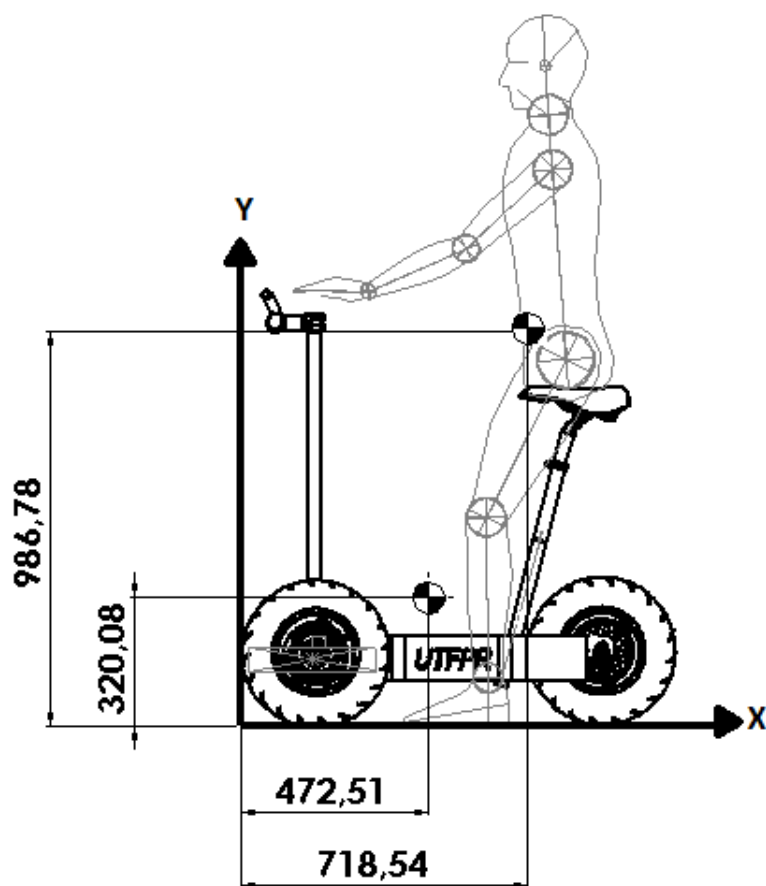


Figura 38 - CG's individuais do sistema.
Fonte: Autor.

Tabela 4 - Cálculo do centro de gravidade do sistema.

| Elemento | m [kg] | x_{CM} [mm] | $m \cdot y_{CM}$ [mm] | $m \cdot x_{CM}$ [mm · kg] | $m \cdot y_{CM}$ [mm · kg] |
|-----------|--------|---------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Protótipo | 30,33 | 472,51 | 320,08 | 14331,23 | 9708,03 |
| Usuário | 100 | 718,54 | 986,78 | 71854 | 98678 |
| Σ | 130,33 | | | 86185,23 | 108386,03 |

Fonte: Autor.

Desta forma, utilizando novamente as equações (32) e (33), obtém-se as coordenadas dos CG's.

$$x_{CM} = 661,28 \text{ mm e } y_{CM} = 831,63 \text{ mm}$$

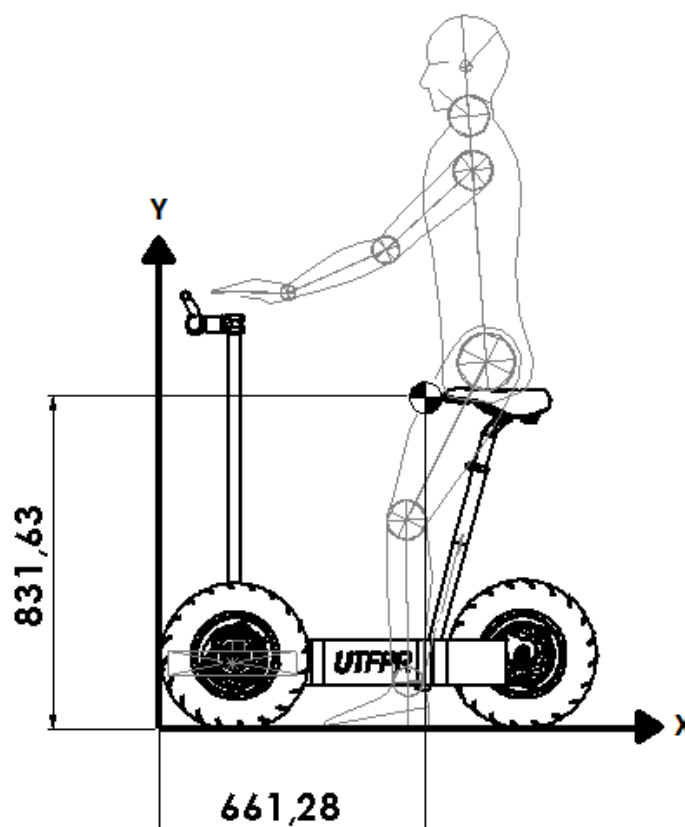


Figura 39 - CG global do sistema.
Fonte: Autor.

5.5.3 Análise de estabilidade

A análise de estabilidade ao tombamento do protótipo será feita utilizando a análise que envolve três situações comuns nas quais o usuário estará sujeito durante um percurso com o andador. São elas os acoplamentos no plano horizontal e em planos inclinados na vista lateral e frontal

A primeira situação a ser analisada é em um plano horizontal, como mostrado na Figura 40, considera-se que para garantir a estabilidade o CG do sistema deve estar dentro da zona formada pelas duas assíntotas geradas a partir da zona de contato do protótipo com o solo, desta forma verifica-se que nesta situação o protótipo encontra-se em uma zona estável.

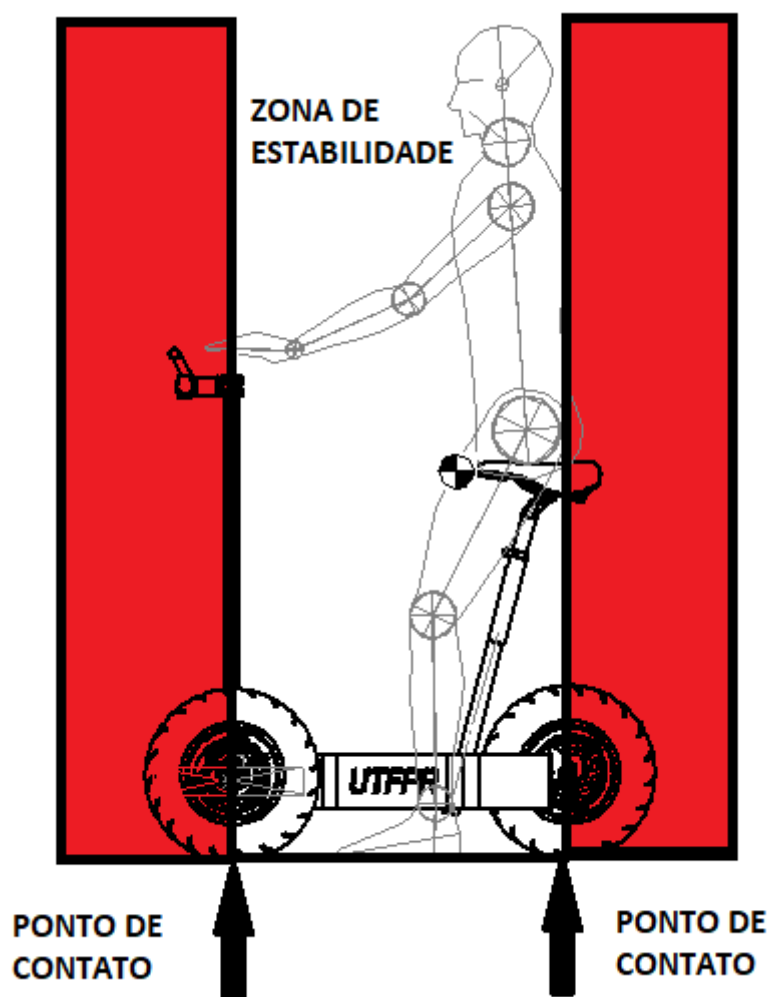


Figura 40 - Zona de estabilidade do protótipo sobre um plano horizontal.
Fonte: Autor.

Para análise da situação de plano inclinado na vista lateral pode-se utilizar uma metodologia similar à vista na seção 2.7, onde é mostrado o cálculo da altura do centro de massa de um veículo em um plano inclinado. Desta forma a partir de um triângulo formado ligando os pontos de contato com o CG do sistema, pode-se determinar o ângulo de inclinação máxima (rotação x) no qual o protótipo não irá tombar, como é possível de se observar na Figura 41.

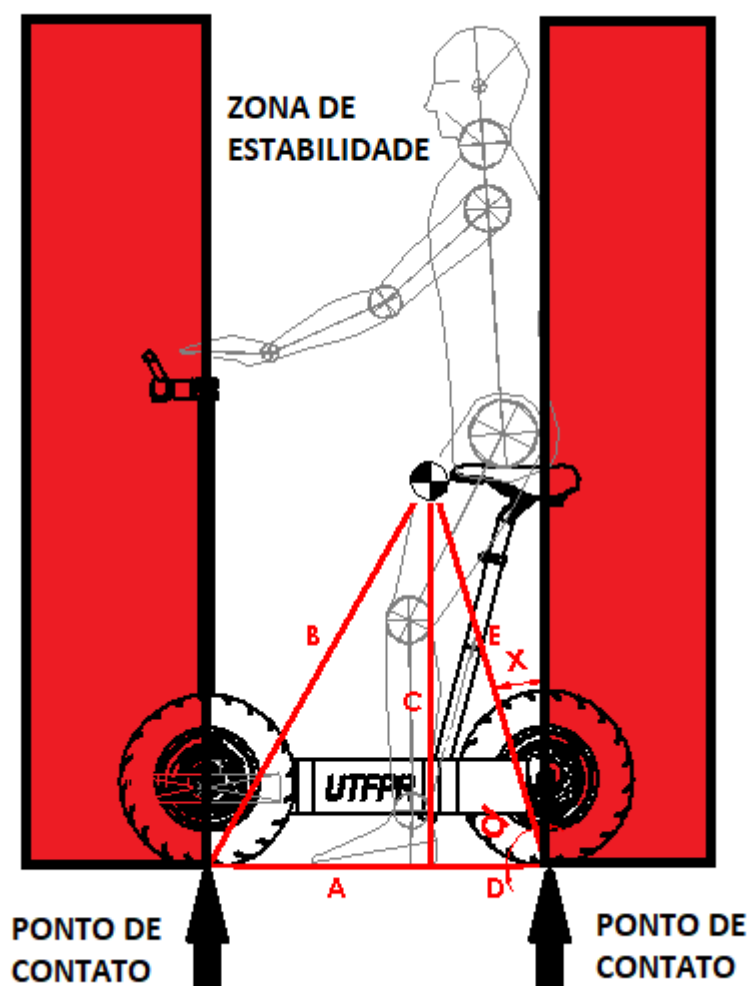


Figura 41 - Triângulo ABCDE.
Fonte: Autor

A partir do triângulo CDE podemos obter as seguintes relações

$$d = \tan^{-1} \frac{C}{D} \quad (34)$$

$$x + d = 90^\circ \quad (35)$$

O valor de C é conhecido, sendo a dimensão da coordenada vertical do CG, já D pode ser obtido a partir da distância conhecida entre os pontos de contato e a dimensão da coordenada horizontal do CG do sistema, a Figura 42 apresenta a distância entre os pontos de contato e comprimento total do protótipo, desta forma temos que.

$$A + D = 716mm \quad (36)$$

$$A = x_{CM} - \frac{(1096 - 716)}{2} \quad (37)$$

Substituindo os valores obtém-se os seguintes resultados

$$A = 471,3mm, D = 244,7mm$$

$$d = 73,6^\circ \text{ e } x = 16,4^\circ$$

Com isto verifica-se que o ângulo máximo permitido do plano inclinado na vista lateral, em que o protótipo pode ser utilizado sem que ocorra o risco de tombamento é de $16,4^\circ$

Para calcular o ângulo máximo de um plano inclinado frontal utiliza-se o mesmo método mostrado anteriormente, as relações são obtidas a partir da Figura 42.

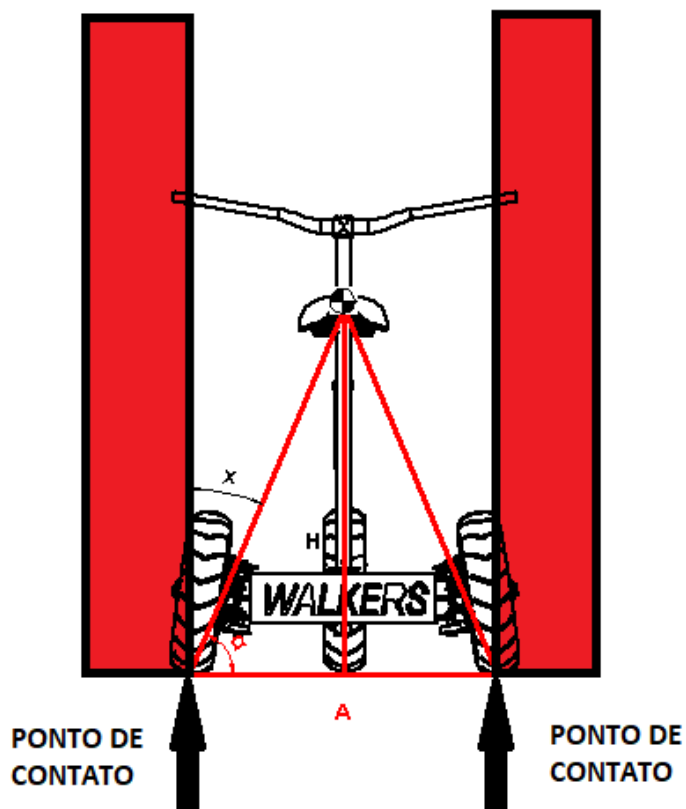


Figura 42 - Zona de estabilidade do protótipo em um plano frontal.
Fonte: Autor

A partir de relações trigonométricas o valor dos ângulos a e x e pode ser determinado da seguinte forma

$$a = \tan^{-1} \frac{H}{A/2} \quad (38)$$

$$x + a = 90^\circ \quad (39)$$

Como o valor de H é o mesmo que o da coordenada y_{CM} e a distância A entre os pontos de contato é conhecido, temos que

$$a = 67,2^\circ \text{ e } x = 22,8^\circ$$

A partir disso, pode-se estabelecer que a inclinação máxima de um plano inclinado no qual o protótipo não tombara é de $22,8^\circ$.

Tabela 5 - Análise de estabilidade em diferentes condições de percurso.

| Condição | Ângulo máximo [°] |
|-------------------------|-------------------|
| Plano horizontal | - |
| Plano inclinado frontal | 16,4 |
| Plano inclinado lateral | 22,8 |

Fonte: Autor.

5.5.4 Análise de elementos finitos

Para determinar os esforços, deformações e deslocamentos aos quais os componentes do protótipo estão sujeitos pode-se utilizar o método dos elementos finitos, por meio de um *software* de análise. Neste caso foi utilizado o *software* CAE, Simulation, que um suplemento do próprio Solidworks.

Como dito anteriormente, muito dos componentes do protótipo são adquiridos em sua forma final, como por exemplo os eixos, rodas, etc. Devido a isso a realização da análise de esforços dos mesmos seria redundante, pois, eles foram dimensionados previamente para atuar em situações muito mais críticas as quais o protótipo irá ser submetido, supondo assim que os mesmos resistirão suficientemente, sem falhar ou deformar com o esforço aplicado. Desta forma apenas os componentes que foram fabricados posteriormente passarão por esta análise de elementos finitos.

Para dar início a simulação no *software* é necessário fornecer alguns parâmetros como força aplicada, região de aplicação da força e os pontos em que o

componente é vinculado/restringido. Para a força aplicada em cada componente, será considerado o peso do usuário, um total de 981N (100 kg).

Os componentes de maior importância de serem analisados são a caixa de direção e a carenagem

As simulações serão divididas em:

- I. Simulação da caixa de direção
- II. Simulação da carenagem

No software as áreas de aplicação das forças são representadas pelas setas em roxo, já os pontos de fixação pelas setas em verde.

A geométrica fixa implica que naquele determinado local não há deslocamento em nenhuma direção, sendo esses os pontos de conexão com outros componentes de sustentação.

5.5.4.1 Simulação da caixa de direção

- Força aplicada: 981N
- Sentido de aplicação da força: +Z
- Tipo de fixação: Geometria fixa
- Material: Aço AISI 1020

A força aplicada caracteriza-se como sendo cisalhante, gerada no contato entre a caixa de direção e carenagem, sendo uma reação a força aplicada na direção -Y na carenagem do protótipo.

A distribuição de força foi posicionada sobre as superfícies externas das chapas superior e inferior.

Os pontos de fixação são os furos onde a carenagem está acoplada as rodas.

A malha utilizada para esta simulação é uma malha padrão, de elementos tetraédricos. Como forma de validação, foram realizadas 3 iterações a fim de verificar a convergência da malha escolhida, variando o tamanho do elemento H pela metade, partindo de 10mm.

O Gráfico 1 ilustra o resultado obtido.

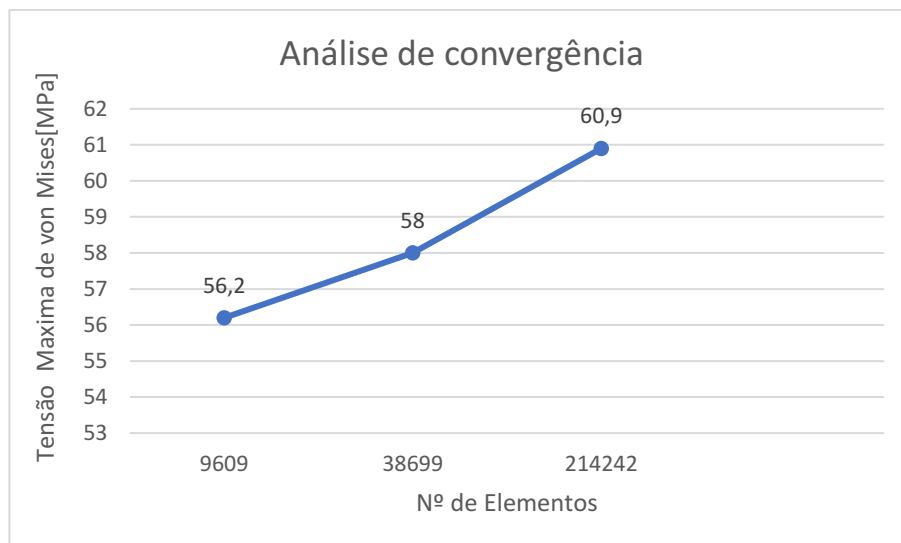


Gráfico 1 - Análise de convergência para simulação da caixa de direção.
Fonte: Autor.

Considerando um critério de convergência de 5%, pode-se dizer que da segunda para terceira iteração temos a convergência da malha, pois, a uma variação de exatamente 5%.

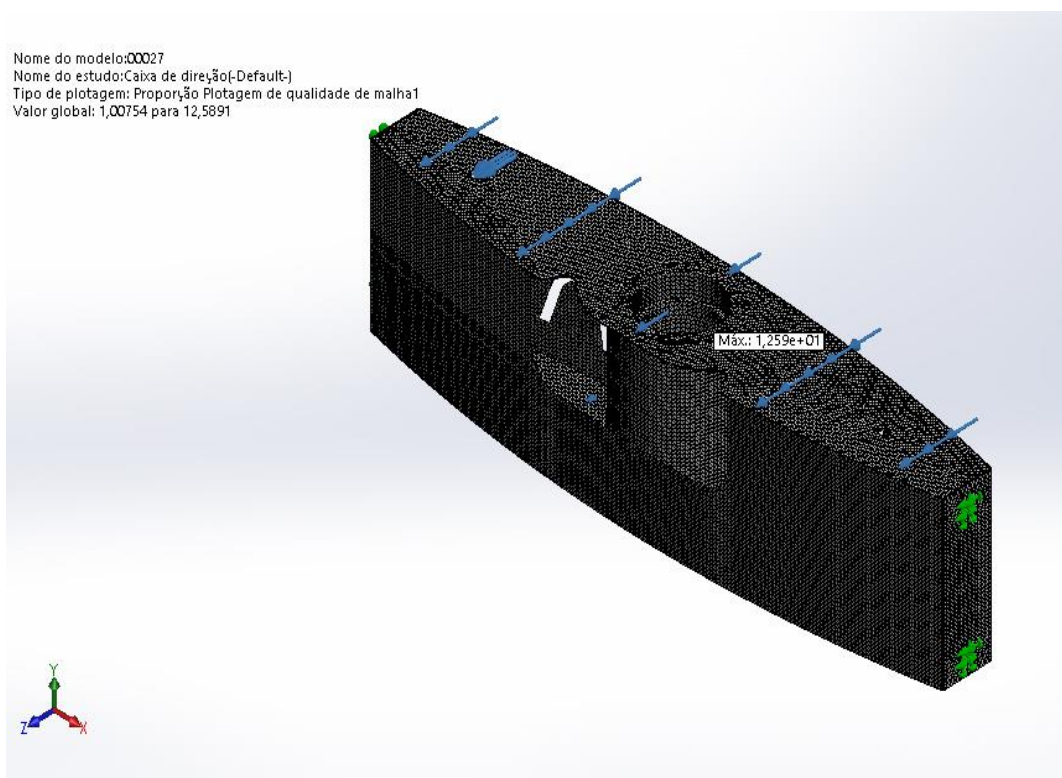
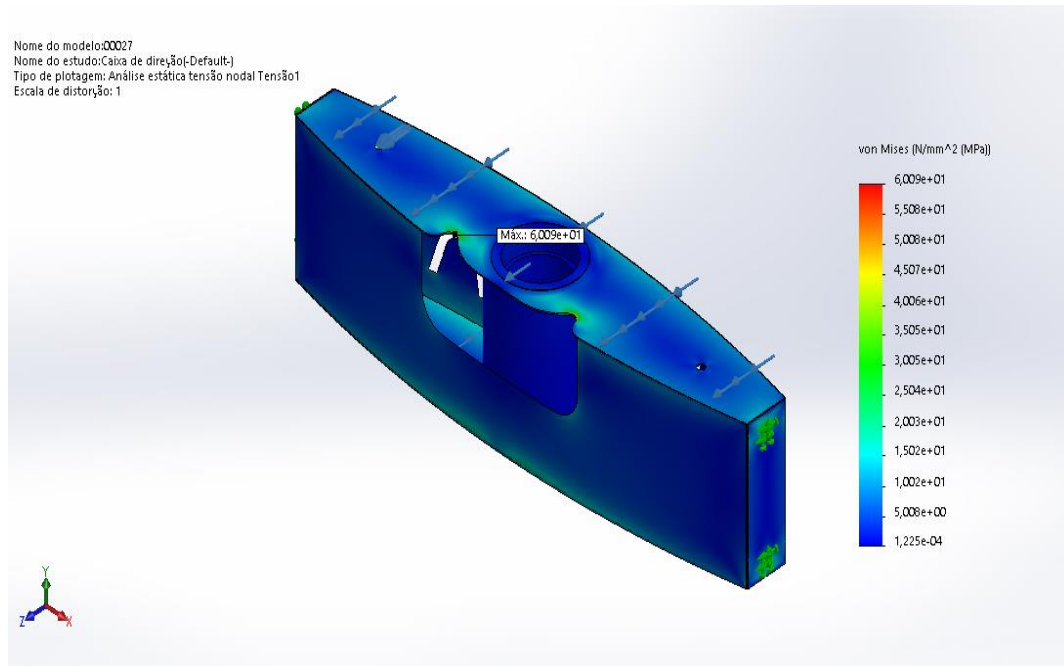


Figura 43 - Malha para a simulação da caixa de direção.
Fonte: Autor.



**Figura 44 - Tensão de von Mises para a simulação da caixa de direção.
 Fonte: Autor.**

5.5.4.2 Simulação da carenagem

- Força aplicada: 981
- Sentido de aplicação da força: -Y
- Tipo de fixação: Geometria fixa
- Material: Aço AISI 1020

Considerou-se que toda força está distribuída ao longo da superfície interna da chapa superior.

Os pontos de fixação na região dianteira são relacionados ao acoplamento da carenagem com a caixa de direção, já os traseiros são referentes ao eixo da roda única

A malha utilizada para esta simulação é uma malha com base em curvatura, com elementos tetraédricos. Para validação, também foram realizadas 3 iterações a fim de verificar a convergência da malha escolhida, variando o tamanho do elemento H pela metade, partindo de 24mm.

O Gráfico 2 representa o resultado obtido.

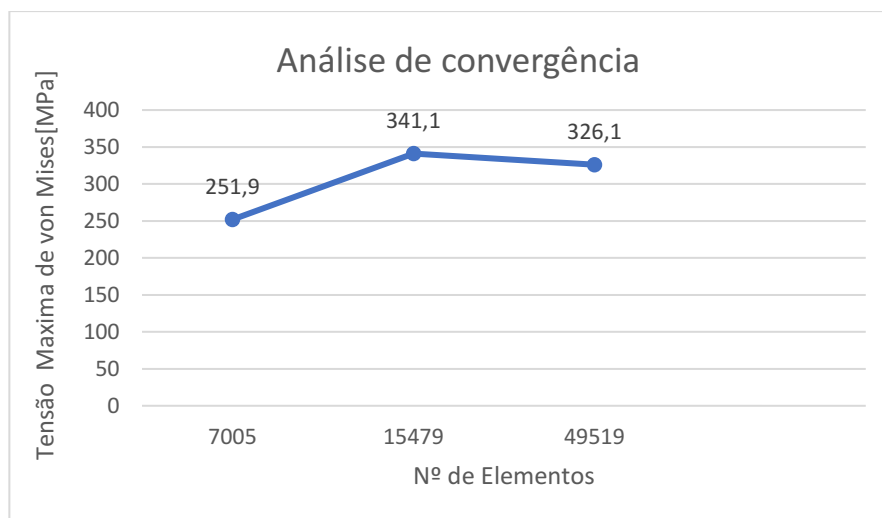


Gráfico 2 - Curva de convergência de malha.
Fonte: Autor.

Novamente, para um critério de convergência de 5%, pode-se dizer que da segunda para terceira iteração temos a convergência da malha, pois, a uma variação de aproximadamente 4,6%.

A partir disso considera-se que a malha escolhida na última iteração pode ser utilizada.

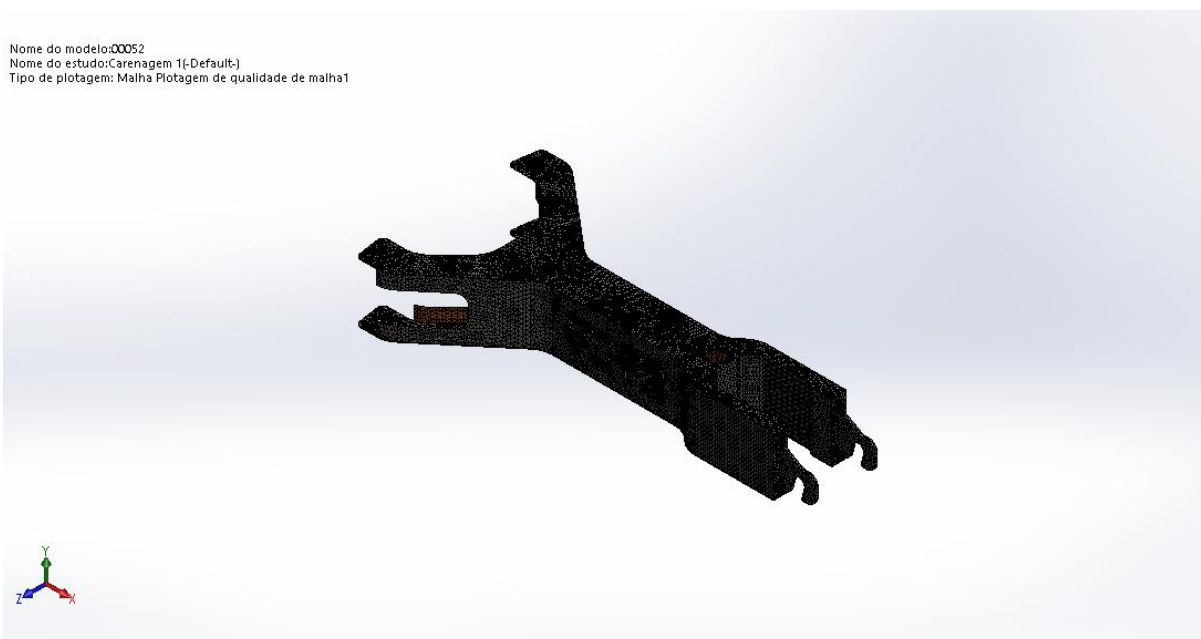


Figura 45 - Malha para simulação da carenagem.
Fonte: Autor.

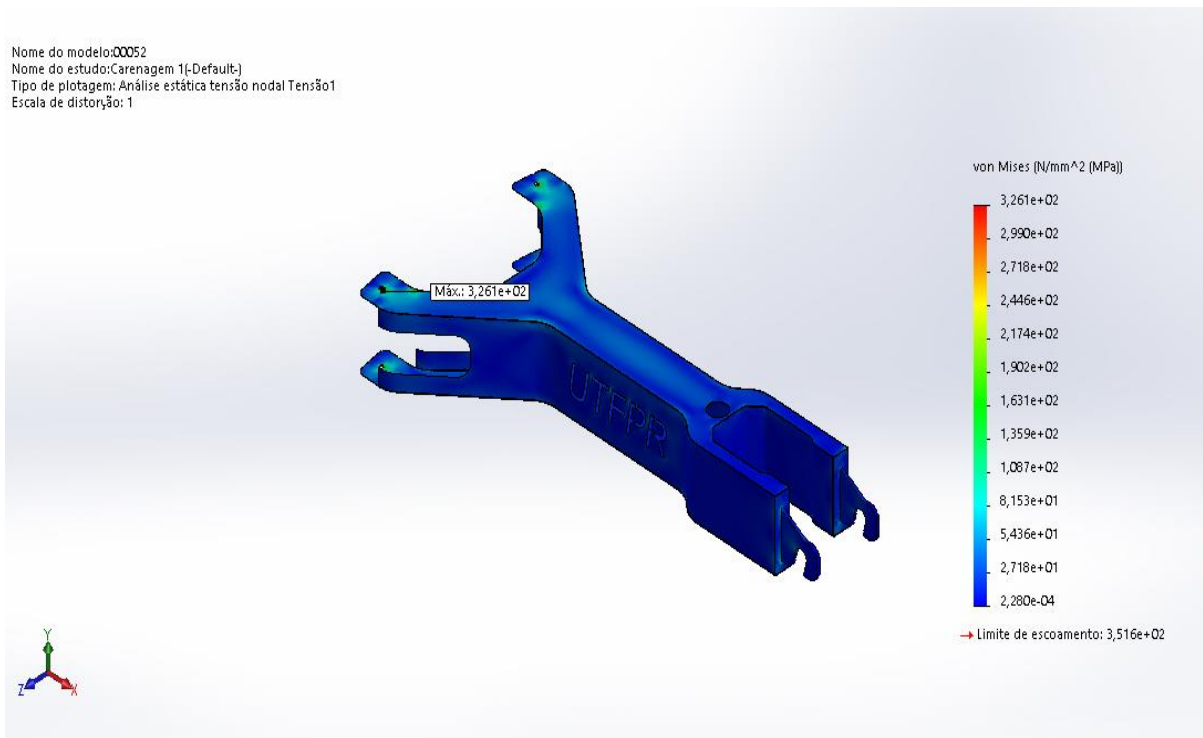


Figura 46 - Tensão Equivalente de von Mises.
Fonte: Autor.

5.5.4.3 Análise dos resultados

Para fins de análise, a Tabela 6 apresenta os valores das propriedades de interesse do aço AISI 1020. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos a partir da simulação por elementos finitos.

Tabela 6 - Propriedades do aço AISI 1020.

| Parâmetro | Valor |
|---------------------------------------|---------|
| Modulo elástico [GPa] | 200 |
| Coefficiente de Poisson | 0,29 |
| Modulo de cisalhamento [GPa] | 77 |
| Massa especifica [kg/m ³] | 7900 |
| Resistencia à tração [MPa] | 420,507 |
| Limite de escoamento [MPa] | 351,571 |

Fonte: SolidWorks.

Tabela 7 - Resultados obtidos na simulação.

| Parâmetro | Componente | |
|------------------------------------|-------------------|-----------|
| | Caixa de direção | Carenagem |
| Número total de elementos finitos | 214242 | 49519 |
| Força aplicada [N] | 981,00 | 981,00 |
| Tensão de von-Mises (Máxima) [MPa] | 326,10 | 60,90 |
| Fator de segurança | 1,08 | 5,77 |

Fonte: Autor

Observando a Tabela 7, pode-se notar que mesmo para situação mais crítica (valores para a caixa de direção), o fator de segurança é superior a 1.

Com base na análise de convergência, a aproximação obtida na simulação pode ser validada.

Nota-se também que toda a análise realizada é feito na condição estática, para condições dinâmicas esses esforços seriam diferentes e outros pontos deveriam ser levados em consideração.

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que os componentes não falharão em uma situação estática ideal, desconsiderando cargas externas em situação real.

6. PROBLEMÁTICAS NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Ao longo do desenvolvimento do projeto, as ideias iniciais foram bruscamente modificadas, no brainstorm inicial da concepção da arquitetura do projeto, a geometria envolvia algo similar ao modelo mostrado anteriormente do Alinker, com base numa proposta publicada em artigo pelo orientador.

A primeira problemática identificada na concepção da arquitetura seria em como construir o sistema de direção, pois, o *trike* na configuração delta, eixo da direção fica localizado coincidentemente ao eixo de apenas uma roda, o que carreta a uma menor área para a caixa de direção, pois, há um afunilamento da carenagem nesse sentido. Desta forma sugeriu-se que o eixo da direção continuasse posicionado no mesmo lugar, porém, o esterçamento do protótipo deveria ser feito nas rodas traseiras. Essa abordagem se mostrou complexa, um sistema de direção para essa condição envolveria em uma maior quantidade componentes, elevando custo de fabricação.

Buscou-se então simplificar essa situação, mudando a configuração para o tipo tadpole, e deu-se início a definição dos primeiros parâmetros, de forma empírica, como por exemplo criando um esboço do próprio aluno, afim, de identificar qual a distância máxima entre a direção e o banco de apoio. Nota-se que esse tipo de abordagem foi apenas para dar início ao processo de criação, posteriormente buscou-se nas literaturas, normas e em outros produtos similares soluções para definir determinados parâmetros.

Com a oportunidade do recebimento de bolsas por meio do projeto de pré-incubadora, o projeto ganhou um novo rumo, pois, o mesmo agora não possuía mais tantas restrições de custo para adquirir os componentes, com isso foi possível elaborar ideias de arquitetura que possuíam geometria complexa, como as peças fabricadas com corte a laser.

Parte dos componentes foram criados com base em produtos existentes no mercado, outro foram adquiridos em sua forma final.

Com isto foi possível chegar na concepção de modelo final apresentado anteriormente na seção 3.2.1

7. AVALIAÇÃO E SUGESTÕES DE MELHORIA

Para identificar possíveis melhorias de projeto primeiramente deve-se analisar os resultados obtidos. Diversos pontos podem ser melhorados, porém, nem todos possuem uma grande relevância, podendo ser negligenciados. As sugestões de mudanças de maior importância estão basicamente ligadas a performance e ergonomia do protótipo, sendo esses os parâmetros mais levados em conta pelos usuários.

7.1 AVALIAÇÃO PRÁTICA DO PROTÓTIPO

Após ser concluído a fabricação do protótipo, realizou-se alguns testes com o mesmo a fim de analisar a experiência no uso do mesmo.

Um dos pontos a ser salientado é questão da largura máxima do protótipo, mesmo levando em conta para essa determinação inicial dessa largura a distância entre os batentes de uma porta convencional, notou-se que em seu deslocamento o *trike* apresentava certa dificuldade para passar pelos batentes, sendo necessário muitas vezes diversas manobras para adentrar em uma sala, como por exemplo nos laboratórios da UTFPR-Londrina.

Em situações de terreno plano o mesmo teve um resultado dentro do esperado, sendo de fácil controle e movimentação, foi experimentado por alunos e discentes que apresentaram *feedbacks* satisfatórios.

Não foram feitos teste dinâmicos de velocidade, por se tratar de um veículo voltado para suporte de deslocamento, sendo inteiramente movido de forma manual, esse tipo de análise não caracterizaria o desempenho do protótipo, mas sim do usuário, devido as diferenças entre as capacidades motoras individuais.

7.1.1 Ergonomia

O primeiro ponto a ser observado durante a utilização do protótipo por longos períodos é a questão do banco, devido ao modelo utilizado no projeto ser um banco convencional, utilizado em bicicletas simples, a partir de um certo ponto o mesmo

começa a causar desconforto ao usuário, sendo muitas vezes necessário uma pausa no percurso. O ponto positivo deste tipo de assento é a facilidade com que ele pode ser encontrado no mercado, possuindo um baixo custo, sendo assim de fácil substituição.

Entretanto, para quem busca um produto que proporcione mais conforto, o banco pode ser substituído por assentos anatômicos fabricados estritamente para veículos *trikes*, feitos em sua maioria de fibra de vidro, um material resistente, possuem também uma geometria que garante uma maior estabilidade para o apoio e também na maioria das vezes contam com suporte lombar.

Também relacionado a longos períodos de utilização, temos o guidão que devido a seu formato, construído em apenas uma direção, exige que o braço do usuário fique quase esticado, o que acaba por resultar em fadiga do mesmo. Uma alternativa ao guidão usado no projeto são os guidões modelo *beach* americano. Diferente do modelo convencional, o modelo *beach* possui uma dobra tubo, na qual o usuário deve segurar, essa dobra é direcionada no sentido do das mãos, apresentando um formato de um quase U, desta forma os braços ficam menos esticados, evitando a fadiga.

7.1.2 Performance

As melhorias de performance estão basicamente ligadas a posições de acoplamentos, material utilizado e estabilidade.

Durante os cálculos e análises de estabilidade ao tombamento do protótipo notou-se que a posição CG global possui grande influência na resistência que o veículo tem a tombar durante um percurso em planos que estão inclinados, sejam ele frontais ou laterais. Para otimizar o ângulo máximo permitido do protótipo o centro de gravidade deve estar posicionado no ponto central entre os eixos dianteiro e traseiro, garantindo uma equidistância dos pontos de contato.

É citado na seção 2.8.1, que para uma melhor estabilidade lateral e de rolagem, o CG deve-se localizar o mais próximo possível do eixo que possui duas rodas, ou a $1/3$, que para o caso desse projeto em questão seria uma distância de 238,67mm do eixo dianteiro, porém, a distância calculada anteriormente para configuração projetada é de 471,3mm, praticamente o dobro do ideal, sendo algo

benéfico caso a configuração do protótipo fosse a delta, com apenas uma roda dianteira.

Existem algumas formas de melhorar essa condição, deslocando o centro de massa no sentido do eixo com duas rodas, uma delas seria alterar a posição do banco, pois, o que mais influência nas coordenadas do CG é peso do usuário que é aproximadamente 3 vezes o peso do veículo *trike*. Outro modo seria adicionar peso na parte dianteira, porém, isso poderia acarretar em peças de maior dimensão, aumentando assim o custo de fabricação. O método mais simples seria alterar a direção, colocando a mesma no eixo que conta com apenas uma roda, alterando assim a configuração para a delta, como citado anteriormente.

7.1.3 Sugestões adicionais

A alteração do material da carenagem, assim como de outros componentes que são constituídos de aço AISI 1020, pode ser uma boa alternativa na questão de alívio do peso do protótipo, escolheu-se este aço devido a sua facilidade de ser encontrado no mercado, assim como o baixo custo, facilidade de usinabilidade e soldagem, que proporcionou uma fabricação mais simples e rápida. Utilizar ligas de alumínio trazem diversas vantagens, como por exemplo no quesito proporção resistência-peso.

7.1.4 Sugestões para trabalhos futuros

As observações levantadas nessa seção têm o intuito de buscar o processo contínuo de melhoria do produto, sendo pontos a serem levados em conta para novos projetos similares, principalmente relacionados a tecnologias assistivas para pessoas com limitações motoras.

Se sugere que para futuras análises seja considerado as condições de esforços dinâmicos presentes em uma situação real de utilização, existem softwares específicos para simular esse estado de solicitações. Esse método de análise cominaria em resultados mais precisos, mais próximos de situações reais, permitindo a implementação até mesmo de controladores. Alguns parâmetros que podem ser

determinados por meio desse método de estudo são o atrito de rolagem, coeficiente de atrito dinâmico, frequência natural do sistema e etc.

Para um produto mais completo, a implementação de um sistema elétrico, com o intuito de um *trike* híbrido, podendo se deslocar de forma manual e motorizada, é algo a ser considerado, pois, em diversas situações, uma pessoa que possui limitação motora dos membros inferiores não tem condições de se deslocar por longos períodos, mesmo com o suporte fornecido pelo andador, assim, quando necessário, em uma situação em que o usuário se encontra fadigado, a possibilidade de acionamento do motor elétrico é bem-vindo. Essa implementação já é bem estabelecida em outros produtos, como por exemplo em bicicletas elétricas, principalmente utilizando baterias de lítio, que permitem a sua rápida e fácil recarga, bastando apenas uma tomada para que isso seja feito.

Observa-se que esse tipo de mudança foge do que foi buscado durante este projeto, que é o desenvolvimento de um produto de baixo custo, a implementação de sistemas elétricos elevaria esse valor, assim como acarretaria em uma maior quantidade de componentes, dificultando a execução de manutenções e substituição de peças.

Como última sugestão para desenvolvimento de trabalhos futuros, tem-se uma análise de viabilidade econômica e sustentável. O presente projeto só foi possível de ser realizado devido ao auxílio financeiro proporcionado pela UTFPR-Londrina por meio do projeto de pré-incubadora nos Hotéis Tecnológicos (HT). No desenvolvimento inicial do projeto, não era levado em conta esse auxílio, que se fosse levado a frente teria se mostrado inviável de ser executado sem a disponibilidade da bolsa para construção do protótipo.

Desta forma, fica evidente a real necessidade de que sejam analisadas todas as situações envolvidas na elaboração de um projeto, mesmo com um desenvolvimento técnico e teórico impecável, de nada adianta se o mesmo é inviável economicamente, a simulação de todos os múltiplos cenários é imprescindível na criação de um projeto de sucesso, isso envolve desde disponibilidade de processos de fabricação até a mesmo estoque de material de possíveis fornecedores.

8. CONCLUSÃO

O objetivo inicial deste projeto (fabricação de um protótipo funcional destinado a pessoas com limitações dos membros inferiores) foi alcançado. A metodologia adotada, mesmo com adaptações se mostrou eficiente para a elaboração de um novo produto. Mesmo com as dificuldades encontradas apontadas na seção 6, foi possível encontrar uma arquitetura satisfatória, que atendia os requisitos mínimos estipulados para o projeto.

O surgimento de dificuldades é algo comum em desenvolvimento de novos produtos, diversas variáveis de projeto muitas vezes são negligenciadas, sendo apenas observáveis durante a fabricação do protótipo, se caracterizando muitas vezes como algo empírico.

Como mencionado anteriormente, o projeto se trata de um processo iterativo, sendo necessário que sejam analisadas todas as etapas, verificando todos os pontos que não apresentaram um resultado satisfatório e buscando soluções para essas condições, como as sugestões de melhorias apresentadas nas seções 8 e 9.

O produto final acabou por apresentar um custo considerável para fabricação, cujo o projeto só foi possível de ser executado por meio do auxílio fornecido pela instituição UTFPR-Londrina. Esse custo pode ser otimizado de forma a buscar que o mesmo seja minimizado com base na experiência adquirida, sugestões de melhoria e mudanças pontuais. Apesar disso, criação de uma nova opção relacionada a tecnologia assistiva sempre é bem-vinda, sendo de importância social, pois, promove acessibilidade a um público que busca cada vez mais ser autônomo.

Por fim, como citação final, o protótipo foi bem aceito, primeiramente na própria instituição UTFPR-Londrina, sendo que essa boa recepção uma motivação para que o mesmo fosse apresentado SEI SICITE 2019, realizado em Pato Branco, no campus da UTFPR. Durante a apresentação o mesmo foi notado por pessoas de diversas camadas da universidade, recebendo até mesmo citação no portal da instituição.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. S. DE; PEREIRA, L. S. M. **Influência da tecnologia assistiva no desempenho funcional e na qualidade de vida de idosos comunitários frágeis: uma revisão bibliográfica.** Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia, v. 12, n. 1, p. 113–122, abr. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamento urbanos [NBR 9050].** Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 97 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cadeiras de rodas - Parte 1: Determinação da estabilidade estática [NBR 7176-1].** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BERSCH, R. **Introdução à Tecnologia Assistiva.** [S.l.: s.n.]. 2017

BRAVO, D. M. **Projeto Cinemático da Suspensão e Direção de um Veículo de Fórmula SAE Elétrico.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301689421_Projeto_Cinematico_da_Suspensao_e_Direcao_de_um_Veiculo_de_Formula_SAE_Eletrico>. Acesso em: 4 dez. 2019.

BUDYNAS, R.; NISBETT, K. **Elementos de Máquinas de Shigley.** 8. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2011.

CARPES JR, W.; LOSEKANN, C. **Eixo Temático Sistema de Direção.** . [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://professores.chapeco.ifsc.edu.br/vinicius/files/2016/05/Sistema-de-Dire%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2019. , 2013

Casa Ortopédica - O portal líder em vendas de cadeiras de rodas em todo Brasil! Disponível em: <https://www.casaortopedica.com.br/home?gclid=Cj0KCQiAzMGNBhCyARIsANpUkzMYyadhTGDNDQvIvB-oMQccVWZy7Lfm4RPffAaD1NjoYEaDPv8sKEaAr1iEALw_wcB>. Acesso em: 8 dez. 2021.

CORDEIRO, C. M. M. **Uma Abordagem Gerencial Para o Procedimento de Suspensões de Veículos Terrestres.** 2007. MESTRE EM ENGENHARIA

MECÂNICA – PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, Brasil, 2007. . Acesso em: 22 out. 2019.

EGEWARTH, M. B. **Análise das Variáveis do Sistema de Direção do Protótipo Baja UNIJUÍ**. 2009. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Panambi, 2009.

FARIA, M. G. D. **Controle de Inclinação Baseado em terço para Veículo de Três Rodas de Cambagem Variável**. 2010. 123 f. Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FENNER, P. **On the golden rule of trike design**. 2010. Disponível em: <https://www.academia.edu/6878161/On_the_golden_rule_of_trike_design>. Acesso em: 25 nov. 2019.

FILHO, A. A. **Elementos Finitos - A Base da Tecnologia CAE**. 6. ed. São Paulo: Érica: Editora Saraiva, 2013. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519708/>>. Acesso em: 7 dez. 2021.

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing**. 4. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2015.

Halfbike. Disponível em: <<https://halfbikes.com/>>. Acesso em: 8 dez. 2021.

HIBBELER, R. C. **Dinâmica: Mecânica para engenharia**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

Home | Mobil Saude. Disponível em: <<https://www.mobilsaude.com.br>>. Acesso em: 8 dez. 2021.

HUSTON, J. C.; GRAVES, B. J.; JOHNSON, D. B. **Three Wheeled Vehicle Dynamics**. SAE Transactions, v. 91, p. 591–604, 1982.

JAZAR, R. **Vehicle Dynamics: Theory and Application**. 1. ed. Manhattan: Springer, 2008.

JOSEPH, H; KATHLEEN M. K; TIMOTHY R. D. **Bases biomecânicas do movimento humano**. 4. ed. Barueri, SP: [s.n.], 2016.

LEAL, L.; ROSA, E.; NICOLAZZI, L. **Uma introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas**. . [S.l: s.n.]. , 2012

MERIAM, J. L.; KRAIGE, L. G. **Mecânica para Engenharia - Dinâmica**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016.

MILLIKEN, W.; MILLIKEN, D. **Race Car Vehicle Dynamics**. 1. ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.

OLEGARIO, N. **Estudo da Dinâmica Lateral de Veículo Protótipo de 3 Rodas Urbano**. 2017. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC, 2017.

POIER, P. H. et al. **Development and evaluation of low-cost walker with trunk support for senior citizen**. Revista da Escola de Enfermagem da USP, v. 51, n. 0, 9 out. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0080-62342017000100450&lng=en&tling=en>. Acesso em: 29 out. 2019.

RIBEIRO JUNIOR, Elson Heraldo; PENTEADO, Rosangela de Fatima Stankowitz. **Modelo para formatação de trabalhos acadêmicos da UTFPR**. Ponta Grossa, 2011. (Apostila).

RIBEIRO, L. B. **Análise Comparativa da Movimentação de Uma Suspensão Dianteira**. 2012. 59 f. Especialista em Engenharia Automotiva – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2012.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência Para Melhoria do Processo**, 1ª edição. [S.I.]: Editora Saraiva, 2016.

STEFANOVICH, D. **Tadpole vs. Delta Trikes: Which is right for me?** - RAD-Innovations. Disponível em: <<https://www.rad-innovations.com/compare-trikes.html>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

TAKANOKURA, M. **Analysis for Minimal Wheelbase Length of Four-wheeled Walker for Prevention of Tipping on Sloped Surfaces.** 2014, [S.l: s.n.], 2014.

TAVARES, J.; FONSECA, J. **Introdução ao SolidWorks (X): Análise de Tensões de Peças - SimulationXpress.** . [S.l: s.n.], 2014

The Alinker. Disponível em: <<https://www.thealinker.com/products/the-alinker>>. Acesso em: 8 dez. 2021.

VIANA, A. et al. **Acessibilidade dos idosos Brasileiros aos serviços odontológicos.** 2010. Disponível em: <http://revodonto.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-40122010000300019&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 19 nov. 2019.

WILFRID, D. **Space requirements of the seated operator.** Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: [s.n.], 1955.

APÊNDICE A - Artigo SEI SICITE



IX SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E INICIAÇÃO
XXIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA



11 a 13 de Novembro | Pato Branco - PR

PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM ANDADOR TIPO TRIKE

EQUIPE DO PROJETO: BARION, Pedro Henrique¹, PAULINO, Leonardo Henrique de Oliveira², PENTEADO, Camila Ayumi³, UGOLINI, Lucas Vasques Lopes de Oliveira⁴, GILAPA, Genaro Marcial Mamani⁵

^{1,2,3,4,5}UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ/CAMPUS LONDRINA, ENGENHARIA MECÂNICA

APRESENTAÇÃO DO PROJETO HT <LONDRINA>

O **WALKERS** é um produto de tecnologia assistiva desenvolvida por 4 alunos da graduação do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR – Campus Londrina que visa desenvolver um protótipo com impacto incremental destinado à pessoas com alguma deficiência física momentânea ou permanente que tenham dificuldades geradas pela falta ou não funcionamento correto dos membros inferiores. Segundo o Relatório Mundial sobre Deficiência, elaborado pela Organização Mundial de Saúde em 2011 (ONU, 2011), mais de um bilhão de pessoas em todo o mundo possuem algum tipo de deficiência. No Brasil, mais de quatro milhões de pessoas declararam possuir algum grau de deficiência motora no Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Segundo Lazarojcs (2015), a deficiência motora é uma disfunção física ou motora que afeta a motricidade dos indivíduos no que tange à mobilidade, coordenação e fala acarretando dificuldades ou incapacidades funcionais referentes a locomoção, transferência e atividades do dia a dia. Este tipo de deficiência pode decorrer de lesões neurológicas, neuromusculares, ortopédicas e ainda de má formação congênita. A Tecnologia Assistiva é um tema recente que engloba recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços com objetivo de ampliar a participação de pessoas com deficiência e/ou mobilidade reduzida e que visa garantir autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social da população com limitações. De acordo com Bersch, R. autor do site www.assistiva.com.br "a tecnologia assistiva é uma expressão utilizada para identificar todo o arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e, conseqüentemente, promover vida independentes e inclusão". Deste modo, com avanço da análise e de recursos ergonômicos aplicados a novos e melhorados equipamentos de recuperação fisioterápicos obtêm-se melhores condições dos pacientes em tratamento, sendo o andador um dos recursos indispensáveis para o tratamento.

DIFERENCIAIS DA INOVAÇÃO

O andador proposto é adaptável, ou seja, ele se adequa de acordo com as necessidades do usuário. O diferencial do **WALKERS** é o apelo ao conforto que além de ergonômico, possui regulagem no banco e no sistema de direção que por sua vez, resulta em uma maior mobilidade. Fundamentalmente, consiste em um veículo com o sistema de frenagem em todas as rodas e esterçamento dianteiro com duas rodas.



Figura 1 - Esboço do protótipo.
Fonte: Autoria própria, 2019.

PÚBLICO ALVO E PERSPECTIVAS

O perfil de usuários está fundamentado à deficientes físico-motor, pessoas com dificuldades de locomoção podendo ser permanente ou temporário. Em perspectiva, objetiva-se a melhoria na qualidade de vida dos indivíduos que necessita de recursos que auxiliam na mobilidade dificuldades geradas pela falta ou não funcionamento correto dos membros inferiores.

ESTÁGIO DE DESENVOLVIMENTO

O protótipo foi desenvolvido e finalizado com êxito no laboratório do departamento de engenharia mecânica da UTFPR-Campus Londrina. Para implementação futura, utilizaremos um sistema motorizado elétrico para garantir sustentabilidade e maior autonomia ao usuário.

AGRADECIMENTOS E FONTES DE FOMENTO

Ao professor Genaro Marcial Mamani Gilapa pelo apoio e orientação ao longo de todo o programa e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo ambiente e apoio à participação no Hotel Tecnológico.



APÊNDICE B - Certificado SEI SICITE

08/12/2020

SEI/UTFPR - 1797877 - Declaração



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
 UTFPR - CAMPUS LONDRINA
 DIRETORIA GERAL - CÂMPUS LONDRINA
 DIR. DE REL. EMPRES. E COMUNITARIAS - LD
 DEP. APOIO E PROJETOS TECNOLÓGICOS - LD



DECLARAÇÃO Nº 21/2020 - DEPET-LD

Declaro, para os devidos fins que Pedro Henrique Barion C.P.F.: 398.851.618-05, Camila Ayumi Penteadó C.P.F.: 072.919.759-05, Leonardo Henrique de Oliveira Paulino C.P.F.: 100.213.319-01, Lucas Vasques Lopes de Oliveira Ugolini C.P.F.: 085.738.879-74, integrantes da empresa WALKERS participaram do programa de pré-incubação no Hotel Tecnológico - HT da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina no período de 15/11/2018 até 14/11/2020 totalizando 24 meses. Por ser verdade, eu, Fernando Henrique Campos, Matrícula SIAPE nº 2130731, Coordenador do Programa de Empreendedorismo e Inovação do campus Londrina, lavrei a presente declaração em Londrina, na data de 08 de dezembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **FERNANDO HENRIQUE CAMPOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 08/12/2020, às 11:55, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasília-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

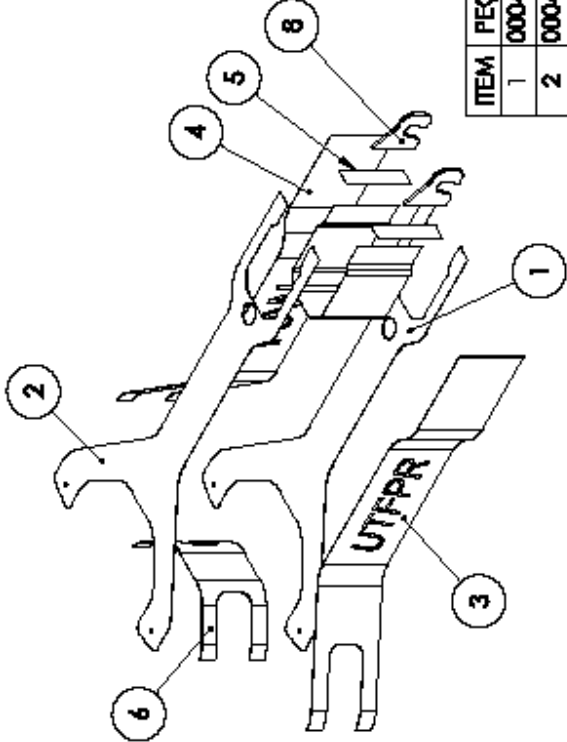


A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_documento_acesso_externo=0 informando o código verificador (informing the verification code) **1797877** e o código CRC (and the CRC code) **C6F83B2C**.


Referência: Processo nº 23064.045783/2018-49

SEI nº 1797877

APÊNDICE C - Detalhamento de parte dos componentes



| ITEM | PEÇA | DESCRIÇÃO | MATERIAL | QTD. |
|------|-------|----------------------------|-----------|------|
| 1 | 00046 | Carenagem Inferior | AISI 1020 | 1 |
| 2 | 00042 | Carenagem superior | AISI 1020 | 1 |
| 3 | 00044 | Lateral Esquerda Carenagem | AISI 1020 | 1 |
| 4 | 00045 | Lateral Direita Carenagem | AISI 1020 | 1 |
| 5 | 00043 | Chapa de ligação | AISI 1020 | 2 |
| 6 | 00048 | Carenagem Dianteira | AISI 1020 | 1 |
| 7 | 00049 | Carenagem Traseira | AISI 1020 | 1 |
| 8 | 00039 | Gancho Suporte do Eixo | AISI 1020 | 2 |



WALKERS

WALKING ON THE WHEELS

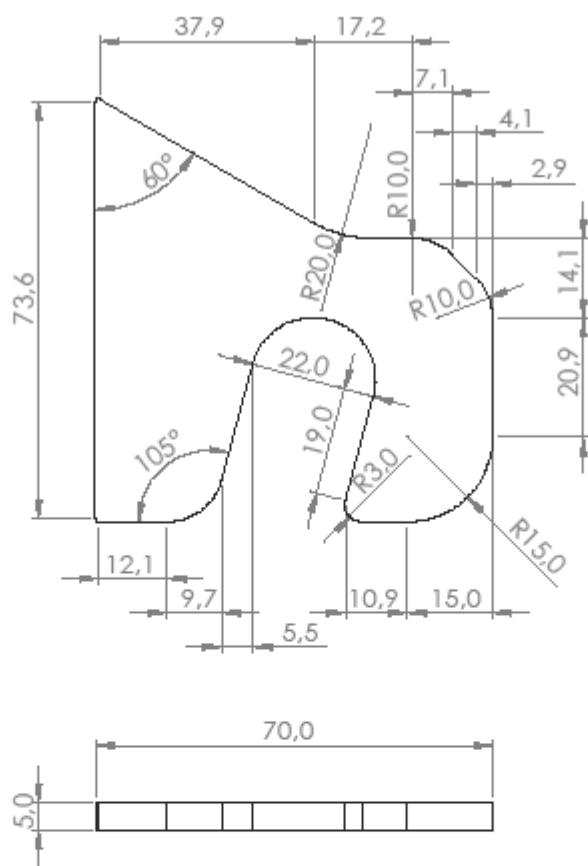
| DATA | NOME |
|-----------------|----------|
| DES. 28/11/2021 | LEONARDO |
| REV. | |
| APR. 14/04/2022 | 1/1 |

PERSONAL: _____

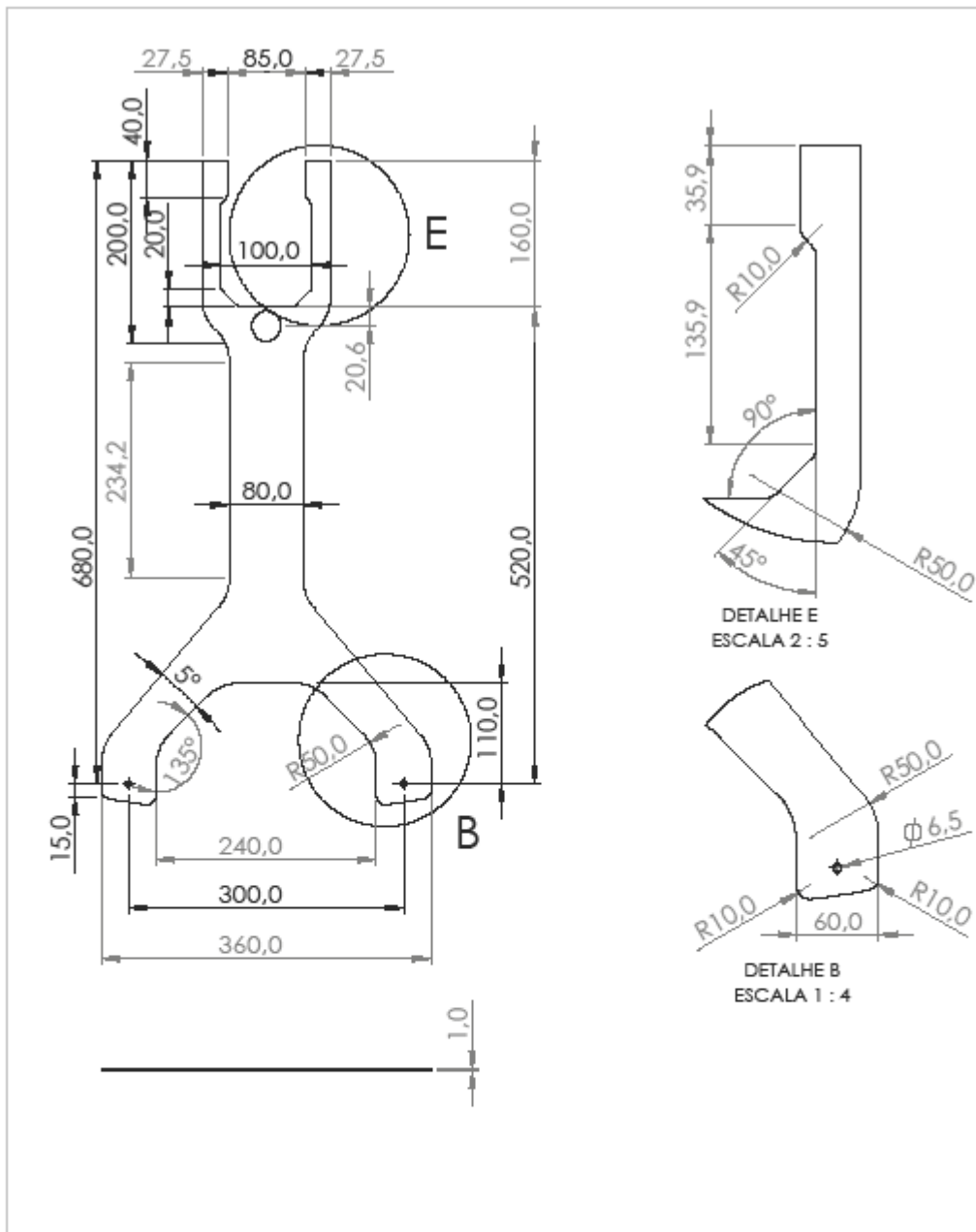
ESCALA: _____

00032

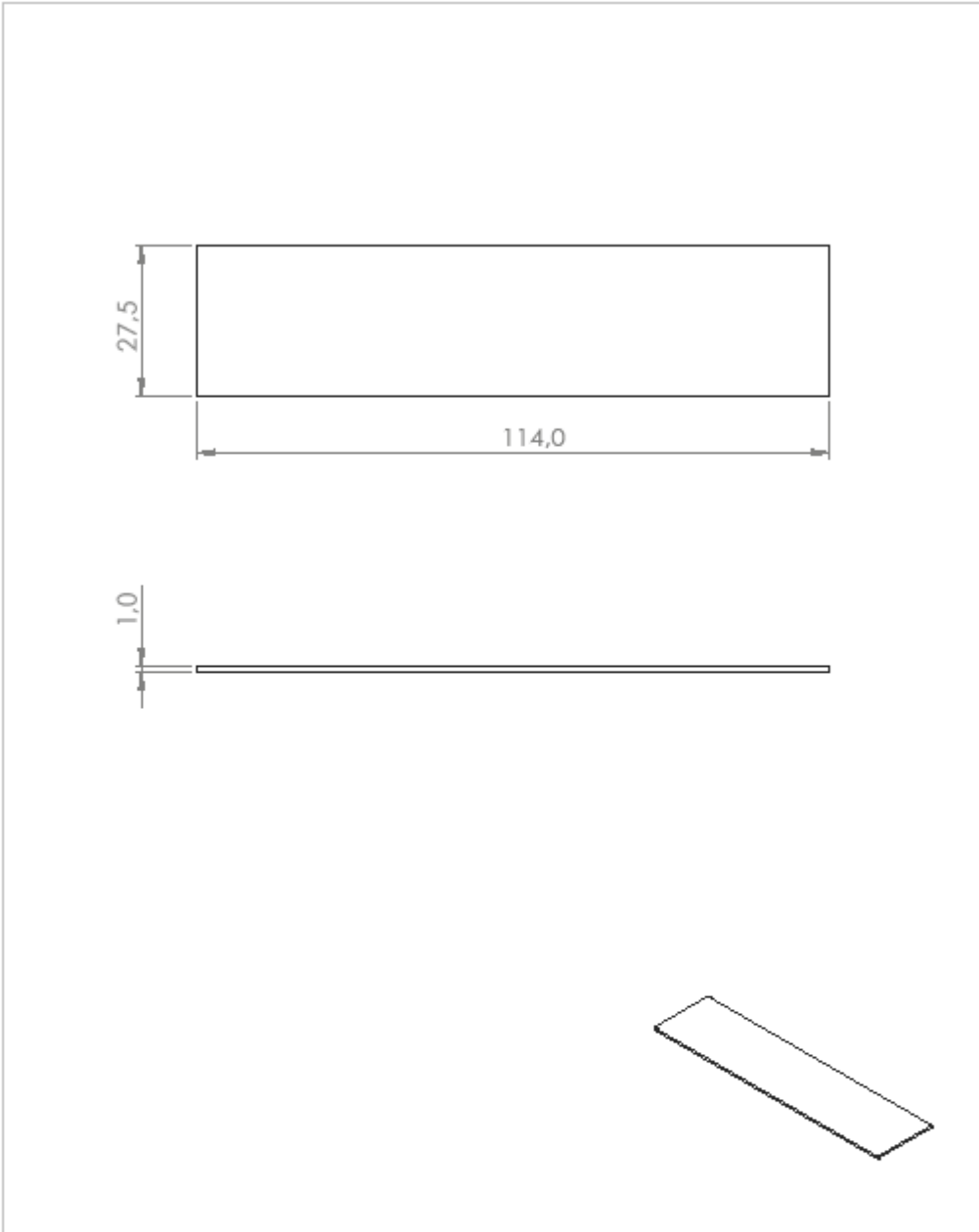
CARENAGEM





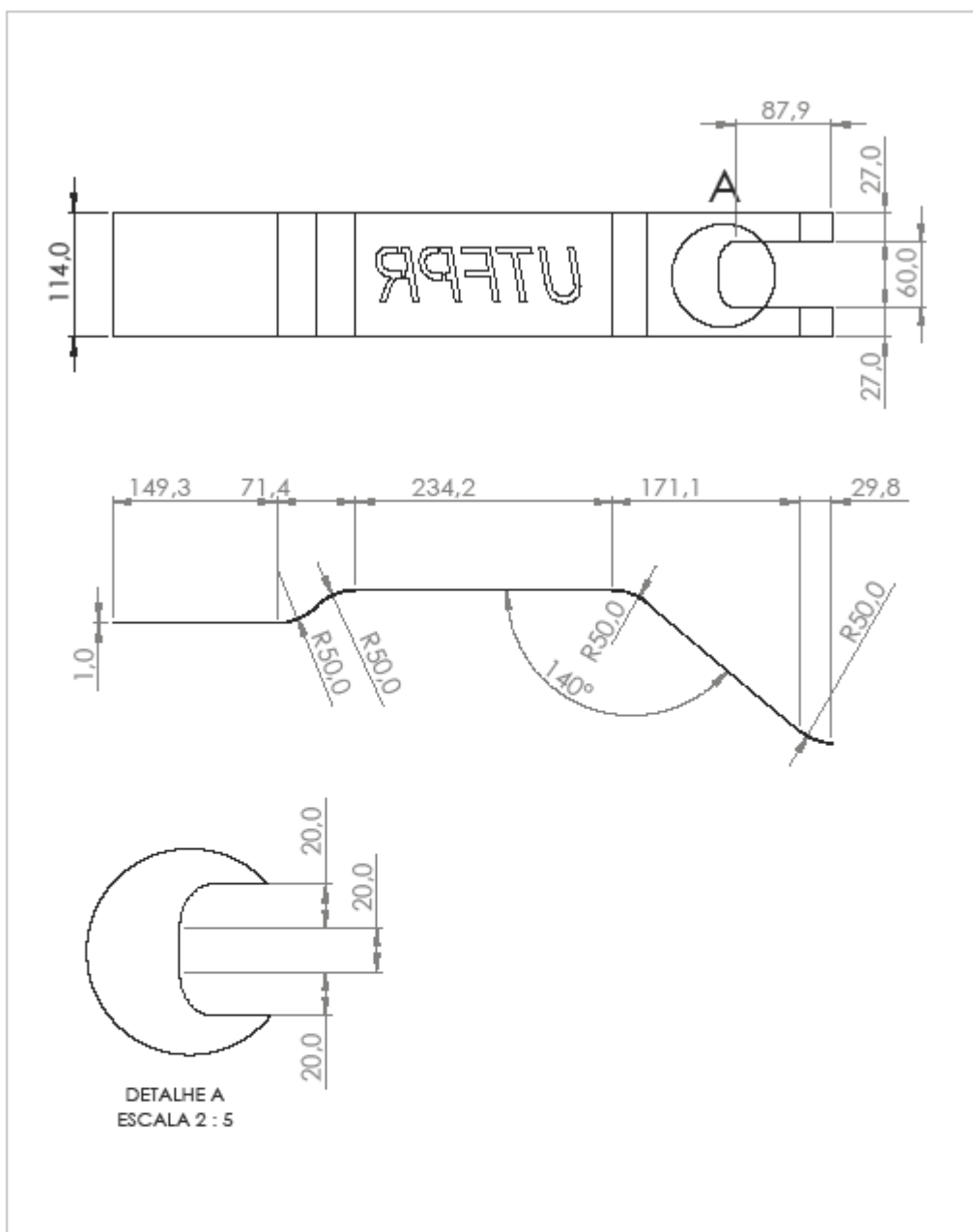
| - | - | 00039 | Gancho Suporte do Eixo | AISI 1020 | |
|--|------|-------|------------------------|--|-------------|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES |
|  WALKERS  | | | |  DATA DES. 25/10/2019 NOME LEONARDO | |
| | | | | REV. | |
| | | | | APR. | |
| | | | | FORM: A4 | UNIDADE: mm |
| | | | | PESO(L): | |
| | | | | ESCALA: | |
| | | | | CÓDIGO: | 00039 |



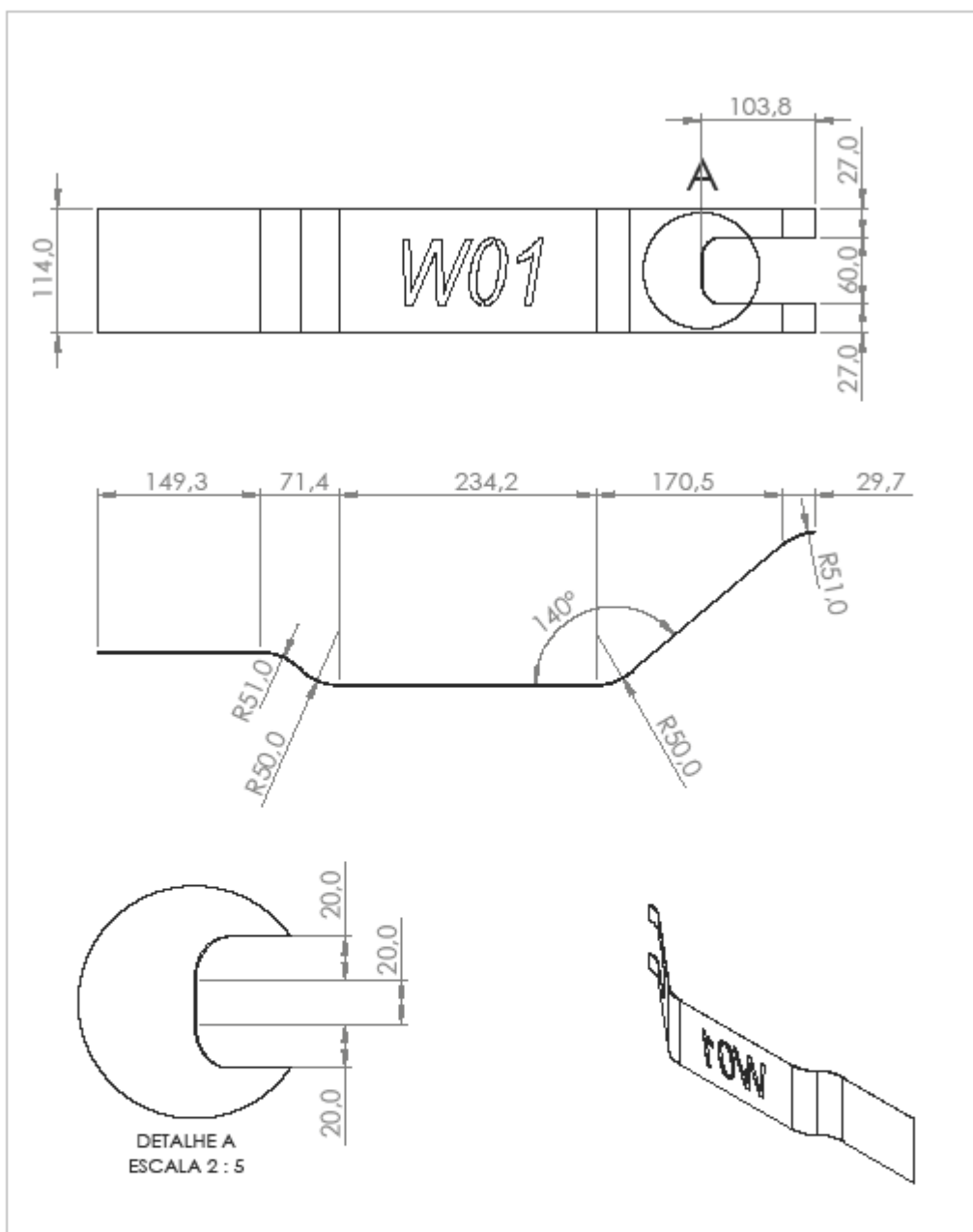
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|--------------------|--|-----------|------|-----------------|----------|------|--|------|--|----------|-------------|----------|-----|--|----------|---------|---------|-------|
| - | - | 00042 | Carenagem Superior | AISI 1020 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | | | | | | | | | |
|   | | | | <table border="1"> <tr> <td>DATA</td> <td>NOME</td> </tr> <tr> <td>DES. 27/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FORM: A4</td> <td>UNIDADE: mm</td> </tr> <tr> <td>PÁGINAS:</td> <td>1/1</td> </tr> </table> | DATA | NOME | DES. 27/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | | FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: | 1/1 | <table border="1"> <tr> <td>PESO(L):</td> </tr> <tr> <td>ESCALA:</td> </tr> <tr> <td>CÓDIGO:</td> </tr> <tr> <td>00042</td> </tr> </table> | PESO(L): | ESCALA: | CÓDIGO: | 00042 |
| DATA | NOME | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DES. 27/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REV. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PÁGINAS: | 1/1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PESO(L): | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESCALA: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CÓDIGO: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 00042 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| - | - | 00043 | Chapa de ligação | AISI 1020 | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------|--|-----------|-----------|-------------|-----------------|----------|------|--|------|--|--|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | |
|  | | | <table border="1"> <tr> <td>DATA</td> <td>NOME</td> </tr> <tr> <td>DES. 27/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> </table> | | DATA | NOME | DES. 27/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | | |
| DATA | NOME | | | | | | | | | | | | |
| DES. 27/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | | | | | | |
| REV. | | | | | | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | <table border="1"> <tr> <td>FORM: A4</td> <td>UNIDADE: mm</td> <td>PÁGINAS: 1/1</td> </tr> </table> | | FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | | | | | | | | | | | |
| | | | | PESO(L): | | | | | | | | | |
| | | | | ESCALA: | | | | | | | | | |
| | | | | CÓDIGO: | | | | | | | | | |
| | | | | 00043 | | | | | | | | | |

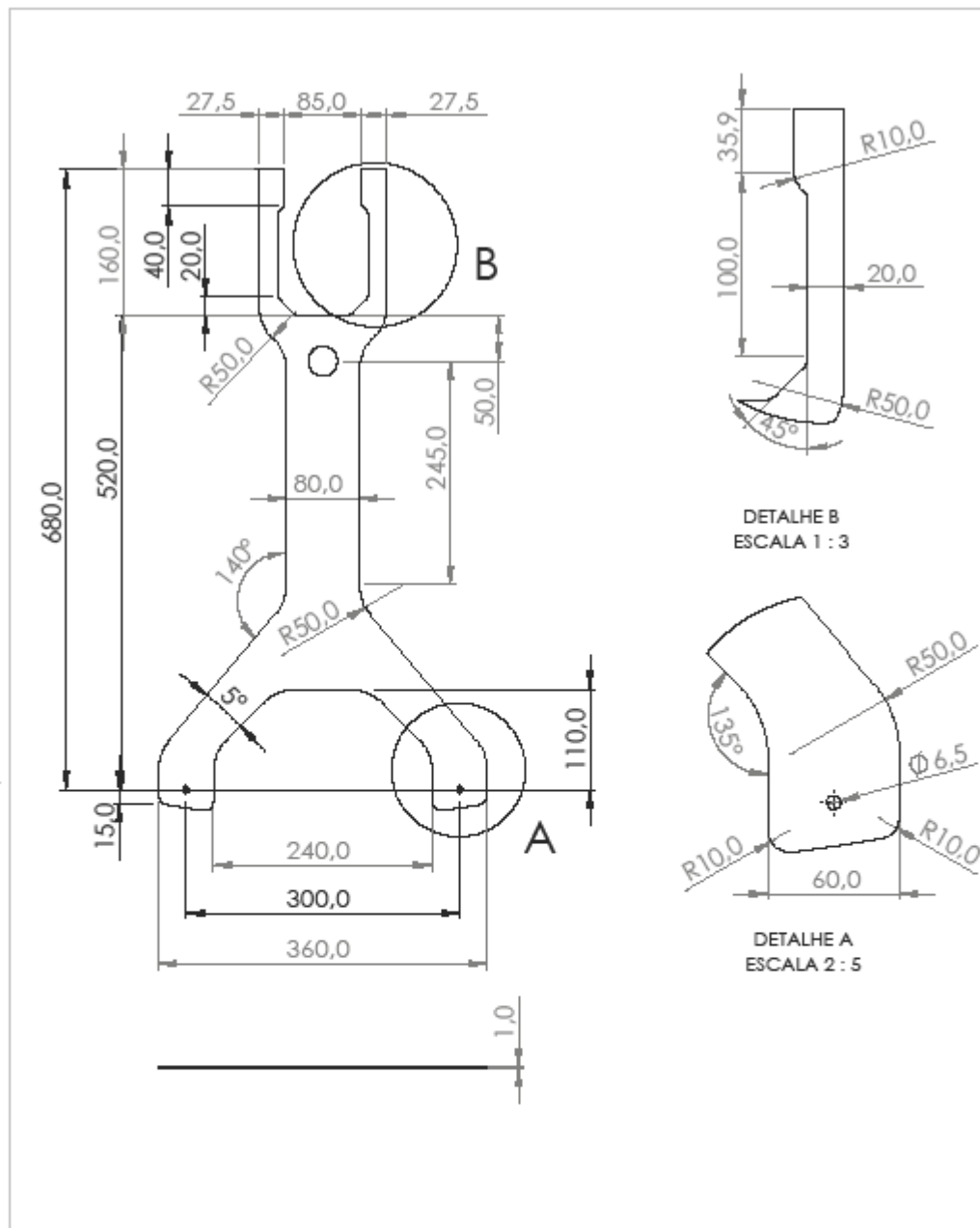


| - | - | 00044 | Lateral Esquerda Carenagem | AISI 1020 | |
|---|------|-------|----------------------------|---|------------------|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES |
|  | | | | DATA DES. 27/10/2019 REV. APR. | NOME LEONARDO |
| WALKING ON THE WHEELS | | | | FORM: A4 UNIDADE: mm PÁGINAS: 1/1 | |
| | | | | PESO(L): | |
| | | | | ESCALA: | |
| | | | | CÓDIGO: | 00044 |

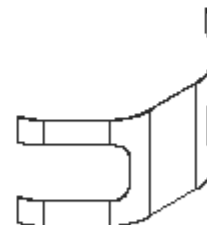
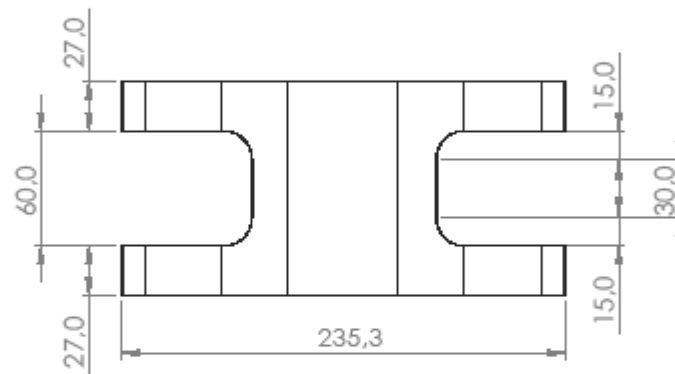
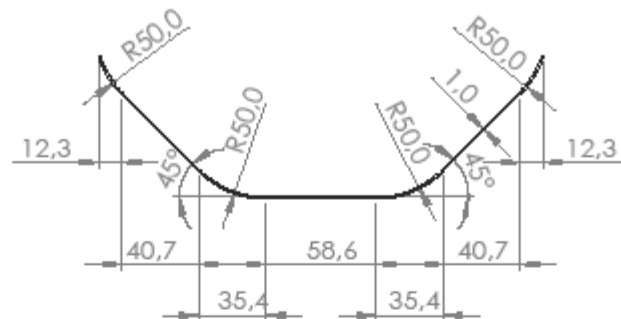


DETALHE A
ESCALA 2 : 5

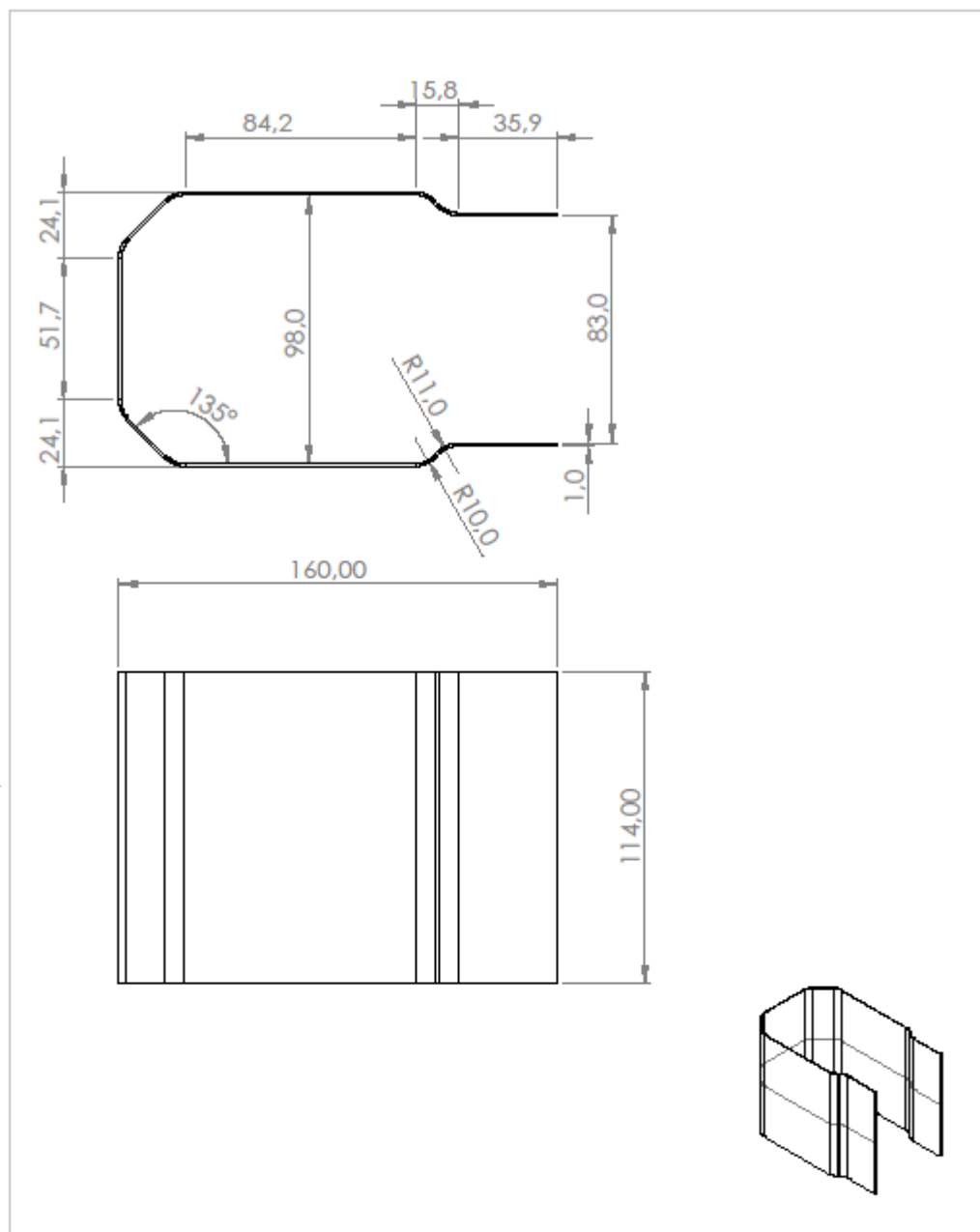
| - | - | 00045 | Lateral Direita Carenagem | AISI 1020 | |
|---|------|-------|---------------------------|---|---|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES |
|  | | | | DATA DES. 27/10/2019 REV. APR. | NOME LEONARDO |
| WALKING ON THE WHEELS | | | | FORM: A4 UNIDADE: mm PÁGINAS: 1/1 | PESO(L): ESCALA: CÓDIGO: 00045 |





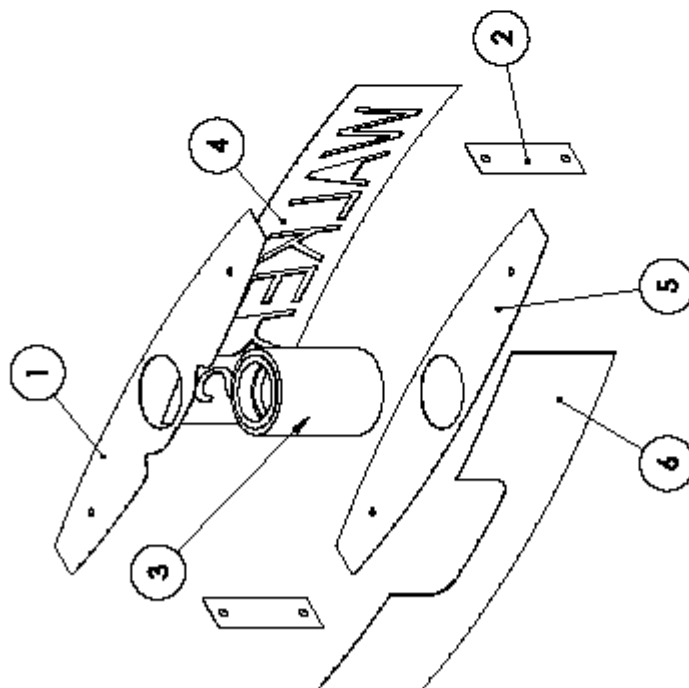
| - | - | 00046 | Carenagem inferior | AISI 1020 | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|---|-----------|-----------|------|------|-----------------|----------|------|--|------|--|----------|-------------|--------------|--|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | | | | | |
|  | | | <table border="1"> <tr> <td>DATA</td> <td>NOME</td> </tr> <tr> <td>DES. 27/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FORM: A4</td> <td>UNIDADE: mm</td> </tr> <tr> <td>PÁGINAS: 1/1</td> <td></td> </tr> </table> | | | DATA | NOME | DES. 27/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | | FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | |
| DATA | NOME | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DES. 27/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REV. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PÁGINAS: 1/1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | PESO(L): | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | ESCALA: | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | CÓDIGO: | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 00046 | | | | | | | | | | | | | | |



| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | |
|--|-------------|--------------|---------------------|-----------|--|----------|------|-----------------|----------|------|--|------|--|
| - | - | 00048 | Carenagem Dianteira | AISI 1020 | | | | | | | | | |
|   | | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>DATA</th> <th>NOME</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DES. 27/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | DATA | NOME | DES. 27/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | |
| | | | | | DATA | NOME | | | | | | | |
| | | | | | DES. 27/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | |
| | | | | | REV. | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | PESO(L): | | | | | | | | |
| | | | | | ESCALA: | | | | | | | | |
| | | | | | CÓDIGO: | | | | | | | | |
| | | | | | 00048 | | | | | | | | |

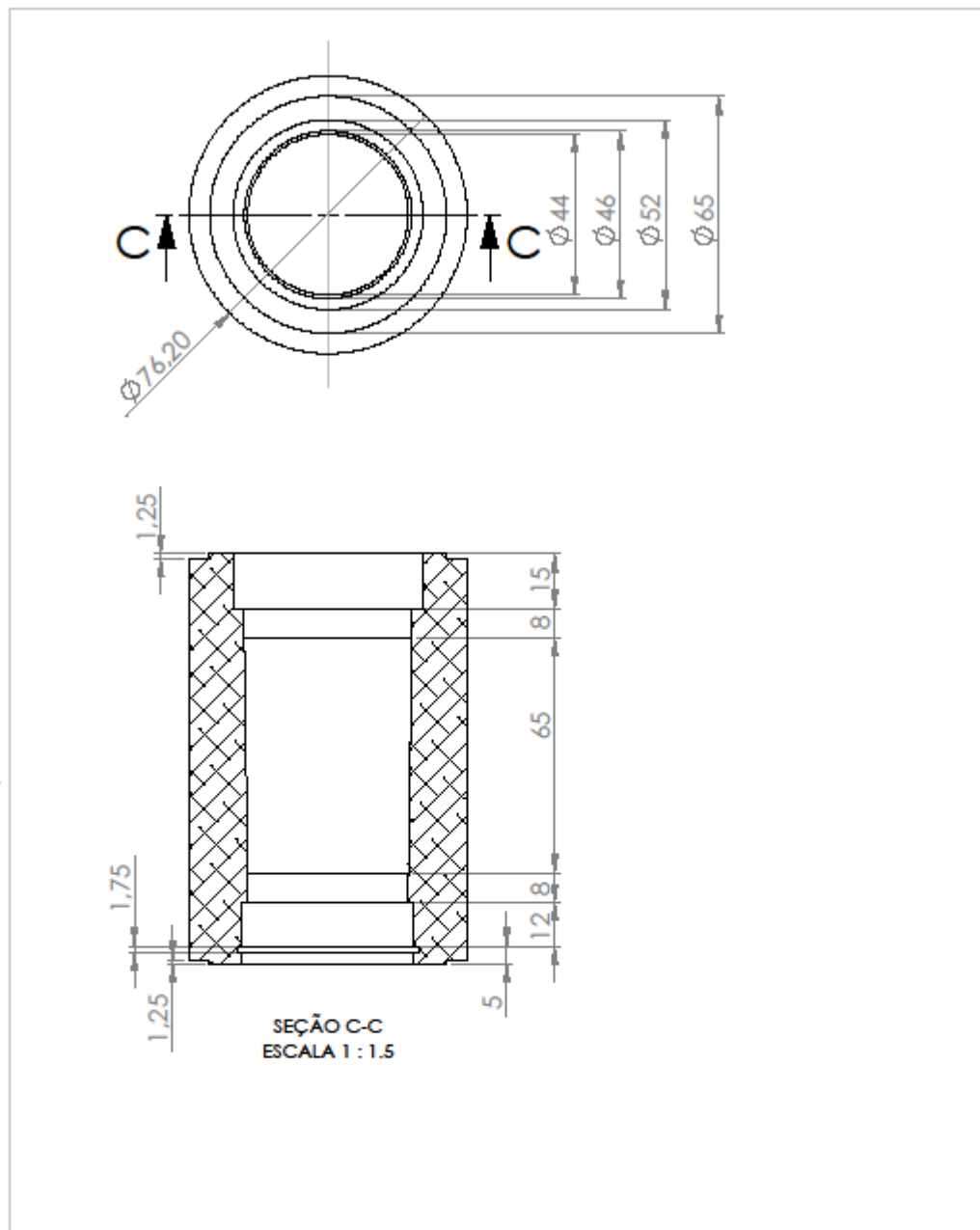


| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | |
|--|----------|---------|--------------------|-----------|--|----------|---------|-----------------|----------|------|-----|------|--|
| - | - | 00049 | Carenagem Traseira | AISI 1020 | | | | | | | | | |
|   | | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>DATA</th> <th>NOME</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DES. 27/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | DATA | NOME | DES. 27/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | |
| | | | | | DATA | NOME | | | | | | | |
| DES. 27/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | | | | | | |
| REV. | | | | | | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>FORMA</th> <th>UNIDADE</th> <th>PÁGINAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A4</td> <td>mm</td> <td>1/1</td> </tr> </tbody> </table> | FORMA | UNIDADE | PÁGINAS | A4 | mm | 1/1 | | |
| FORMA | UNIDADE | PÁGINAS | | | | | | | | | | | |
| A4 | mm | 1/1 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | <table border="1"> <tbody> <tr> <td>PESO(L):</td> </tr> <tr> <td>ESCALA:</td> </tr> <tr> <td>CÓDIGO:</td> </tr> <tr> <td>00049</td> </tr> </tbody> </table> | PESO(L): | ESCALA: | CÓDIGO: | 00049 | | | | |
| PESO(L): | | | | | | | | | | | | | |
| ESCALA: | | | | | | | | | | | | | |
| CÓDIGO: | | | | | | | | | | | | | |
| 00049 | | | | | | | | | | | | | |

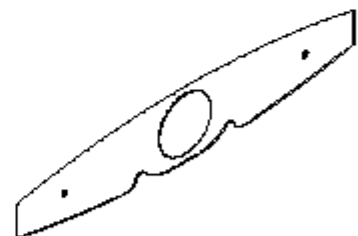
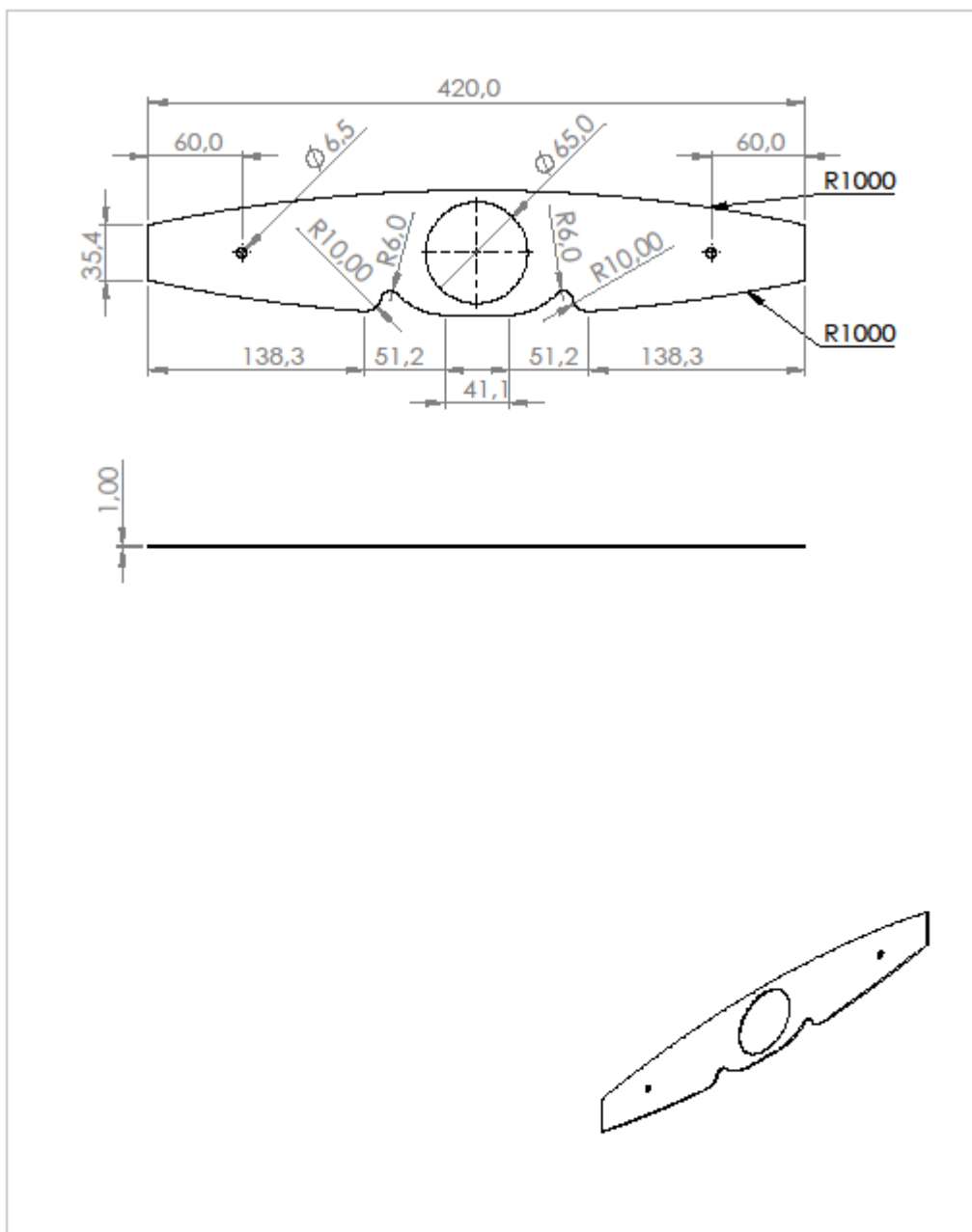



| ITEM | PEÇA | DESCRIÇÃO | MATERIAL | QTD. |
|------|-------|-------------------------|-----------|------|
| 1 | 00025 | Chapa Superior Direção | AISI 1020 | 1 |
| 2 | 00028 | Chapa Lateral Direção | AISI 1020 | 2 |
| 3 | 00024 | Cubo Direção | 4032 - T6 | 1 |
| 4 | 00029 | Chapa Dianteira Direção | AISI 1020 | 1 |
| 5 | 00036 | Chapa Inferior Direção | AISI 1020 | 1 |
| 6 | 00030 | Chapa Traseira Direção | AISI 1020 | 1 |

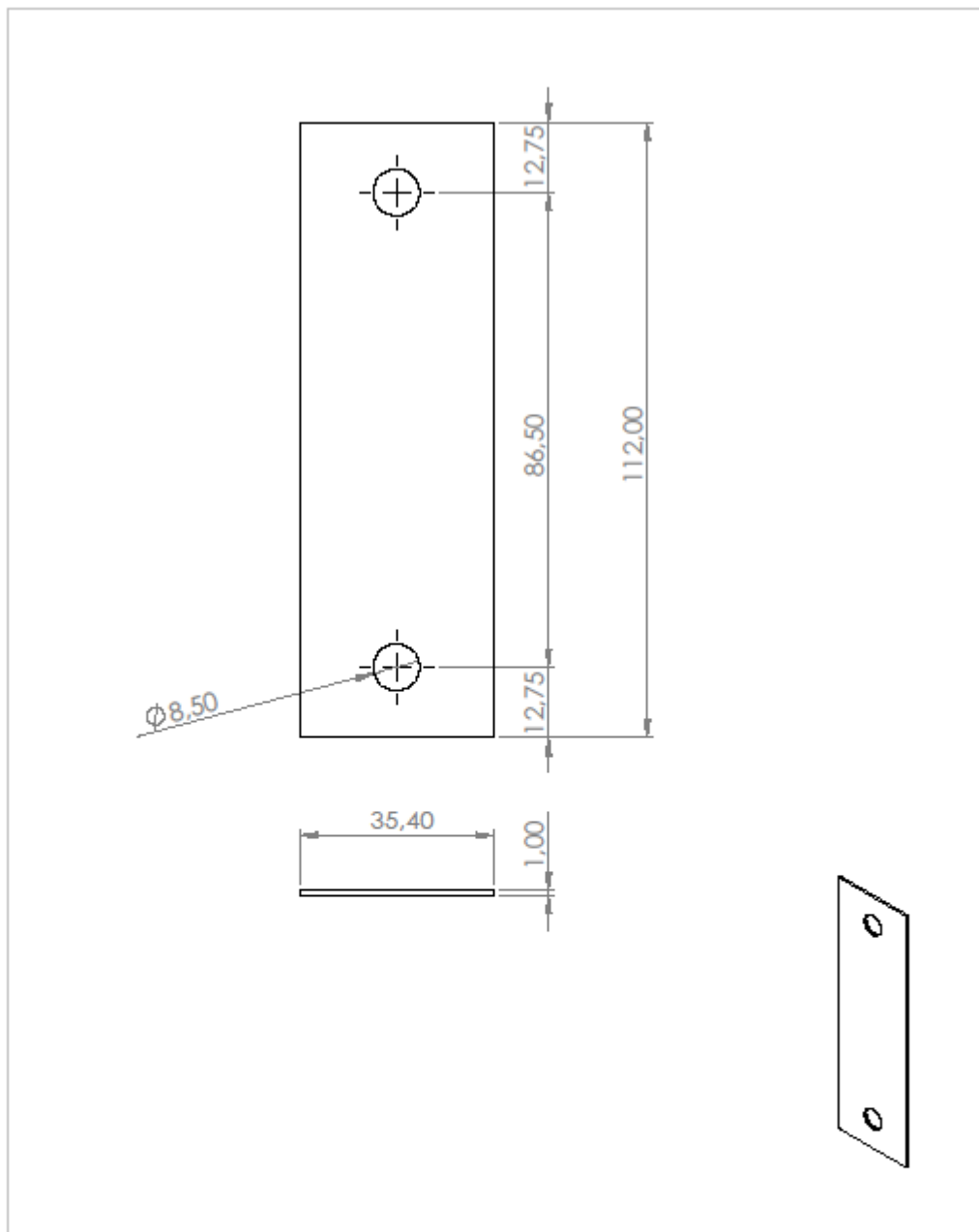
| | | | |
|--|--|-----------------|----------|
| | | DATA | NOME |
| | | DES. 26/11/2021 | |
| | | REV. | |
| | | APR. NOME M | NOME 1/1 |
| | | UNIDADE | mm |
| | | ESCALA: | 00027 |
| | | PEÇAS: | |
| | | CHAPA: | |





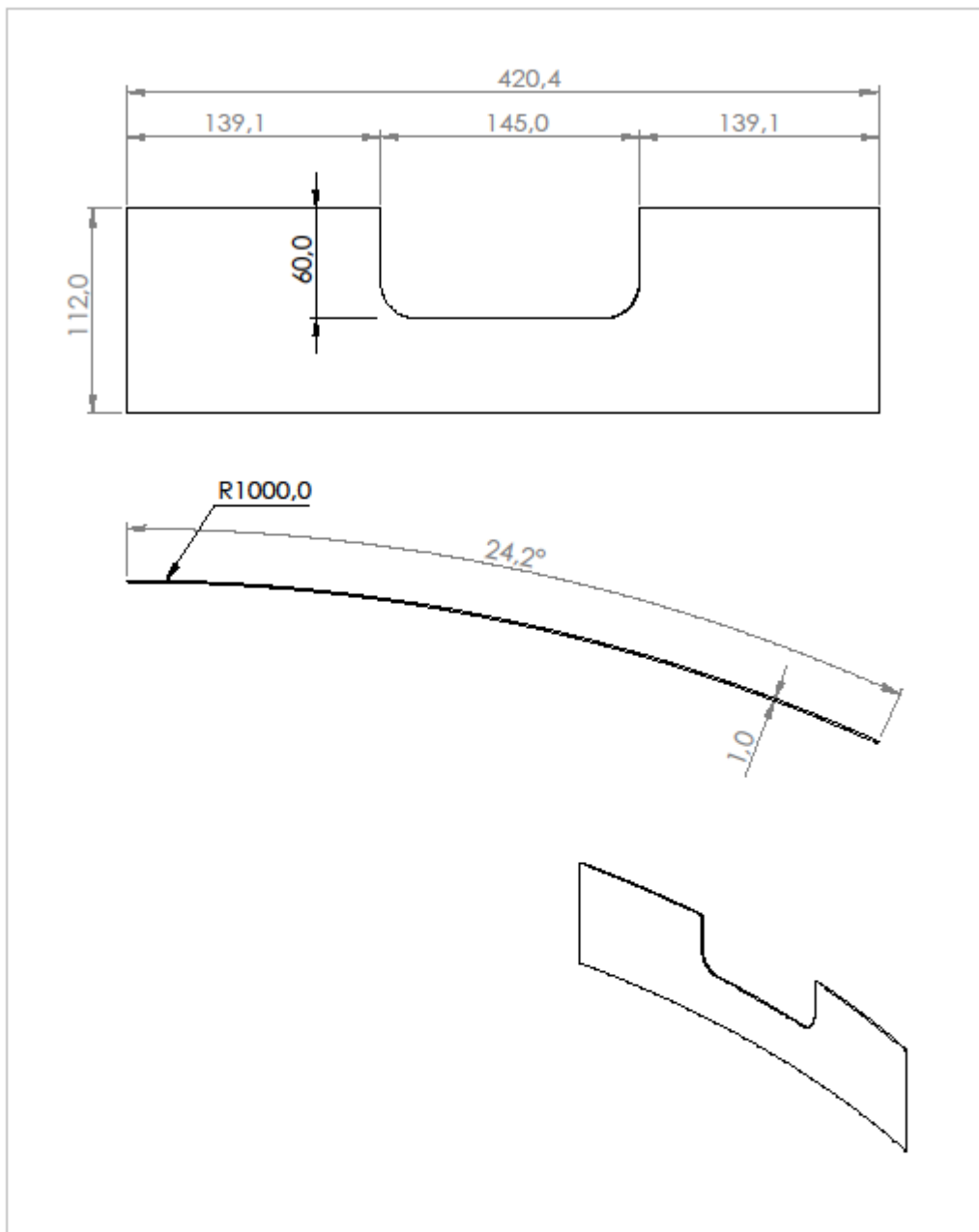
| | | | | | |
|----------|-------------|--------------|--------------|-----------------|-----------|
| - | - | 00023 | Cubo Direção | 4032-T6 | |
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES |
| | | | | DATA | NOME |
| | | | | DES. 24/10/2019 | LEONARDO |
| | | | | REV. | |
| | | | | APR. | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | | | |
| | | | | PESO(L): | |
| | | | | ESCALA: | |
| | | | | CÓDIGO: | 00023 |



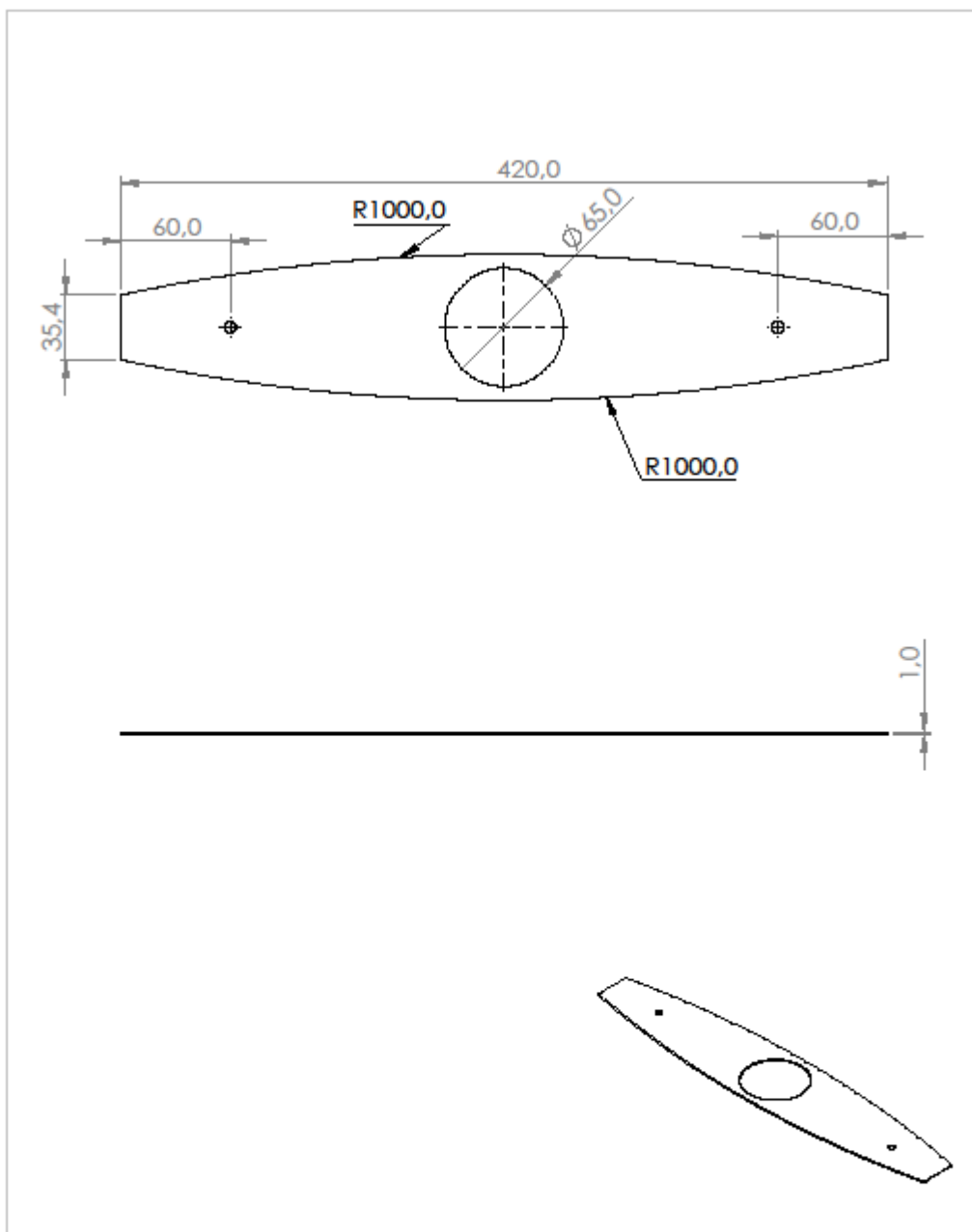
| - | - | 00025 | Chapa Superior Direção | AISI 1020 | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-------|---|-----------|-----------|------|------|-----------------|----------|------|--|------|--|----------|--------------------------|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | | | |
|  | | | <table border="1"> <tr> <td>DATA</td> <td>NOME</td> </tr> <tr> <td>DES. 24/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FORM: A4</td> <td>UNIDADE: mm PÁGINAS: 1/1</td> </tr> </table> | | | DATA | NOME | DES. 24/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | | FORM: A4 | UNIDADE: mm PÁGINAS: 1/1 |
| DATA | NOME | | | | | | | | | | | | | | |
| DES. 24/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | | | | | | | | |
| REV. | | | | | | | | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm PÁGINAS: 1/1 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | PESO(L): | | | | | | | | | | |
| | | | | | ESCALA: | | | | | | | | | | |
| | | | | | CÓDIGO: | | | | | | | | | | |
| | | | | | 00025 | | | | | | | | | | |




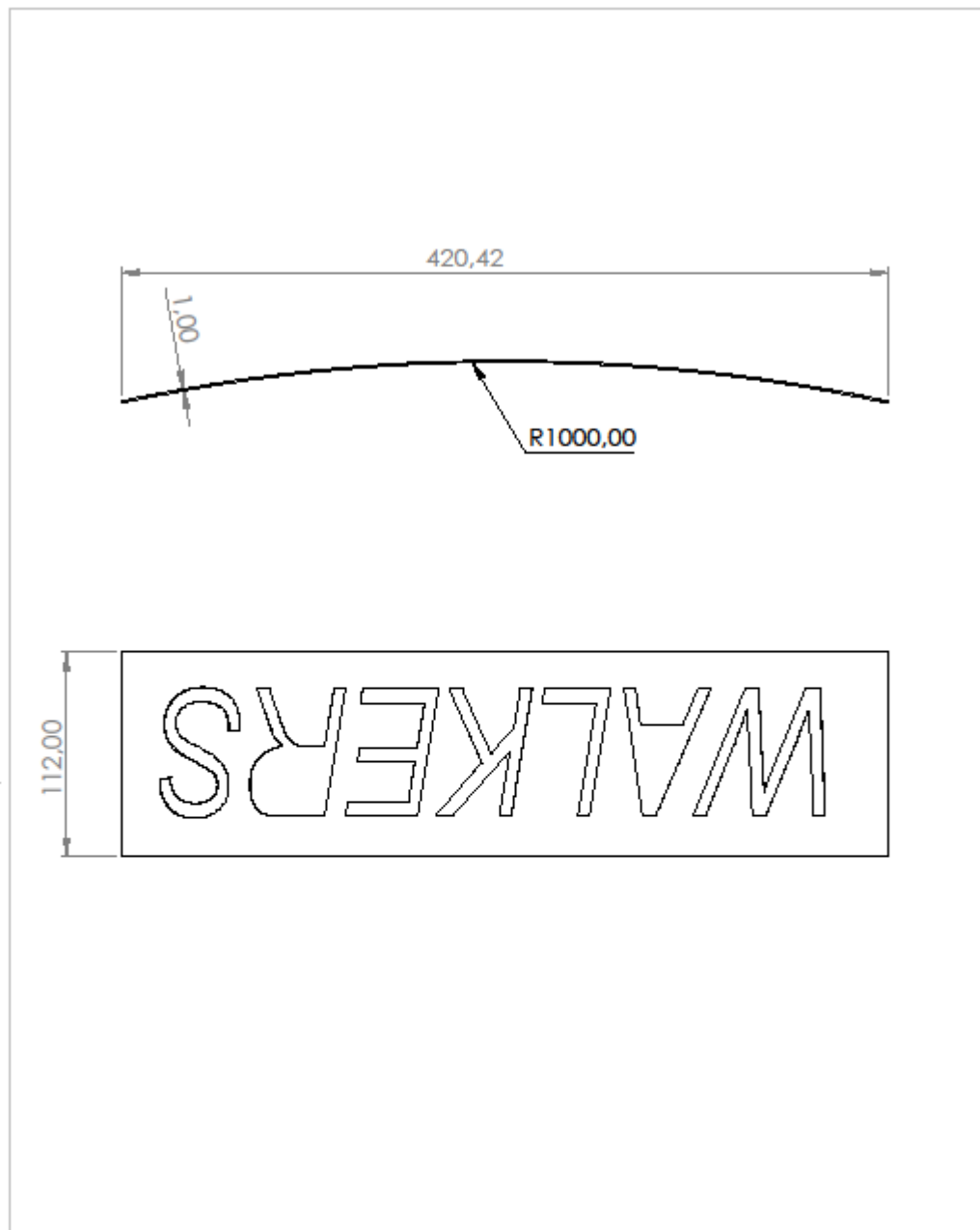
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | |
|--|-------------|--------------|-----------------------|-----------|--|----------|------|-----------------|----------|------|--|------|--|
| - | - | 00028 | Chapa Lateral Direção | AISI 1020 | | | | | | | | | |
|   | | | | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>DATA</th> <th>NOME</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DES. 24/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | DATA | NOME | DES. 24/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | |
| | | | | | DATA | NOME | | | | | | | |
| | | | | | DES. 24/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | |
| | | | | | REV. | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | | | | | | | | | | | |
| PESO(L): | | | | | | | | | | | | | |
| ESCALA: | | | | | | | | | | | | | |
| CÓDIGO: | | | | | | | | | | | | | |
| 00028 | | | | | | | | | | | | | |




| - | - | 00030 | Chapa Traseira Direção | AISI 1020 | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|------------------------|-----------|---|------|------|-----------------|----------|------|--|------|--|----------|-------------|--------------|--|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | <table border="1"> <tr> <td>DATA</td> <td>NOME</td> </tr> <tr> <td>DES. 24/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FORM: A4</td> <td>UNIDADE: mm</td> </tr> <tr> <td>PÁGINAS: 1/1</td> <td></td> </tr> </table> | DATA | NOME | DES. 24/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | | FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | |
| DATA | NOME | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DES. 24/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REV. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PÁGINAS: 1/1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | PESO(L): | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | ESCALA: | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | CÓDIGO: | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 00030 | | | | | | | | | | | | |



| - | - | 00036 | Chapa Inferior Direção | AISI 1020 | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|---|-----------|-----------|------|------|-----------------|----------|------|--|------|--|----------|-------------|--------------|--|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | | | | | |
|  | | | <table border="1"> <tr> <td>DATA</td> <td>NOME</td> </tr> <tr> <td>DES. 24/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FORM: A4</td> <td>UNIDADE: mm</td> </tr> <tr> <td>PÁGINAS: 1/1</td> <td></td> </tr> </table> | | | DATA | NOME | DES. 24/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | | FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | |
| DATA | NOME | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DES. 24/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REV. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PÁGINAS: 1/1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | PESO(L): | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | ESCALA: | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | CÓDIGO: | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 00036 | | | | | | | | | | | | | |



| - | - | 00029 | Chapa Dianteira Direção | AISI 1020 | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------|-------------------------|--|-----------|------|-----------------|----------|------|--|------|--|---|----------|-------------|--------------|
| POS. | QTD. | COD. | DESCRIÇÃO | MATERIAL | DIMENSÕES | | | | | | | | | | | |
|  | | | | <table border="1"> <tr> <td>DATA</td> <td>NOME</td> </tr> <tr> <td>DES. 24/10/2019</td> <td>LEONARDO</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>APR.</td> <td></td> </tr> </table> | DATA | NOME | DES. 24/10/2019 | LEONARDO | REV. | | APR. | | <table border="1"> <tr> <td>FORM: A4</td> <td>UNIDADE: mm</td> <td>PÁGINAS: 1/1</td> </tr> </table> | FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 |
| DATA | NOME | | | | | | | | | | | | | | | |
| DES. 24/10/2019 | LEONARDO | | | | | | | | | | | | | | | |
| REV. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APR. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FORM: A4 | UNIDADE: mm | PÁGINAS: 1/1 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | PESO(L): | | | | | | | | | | | | |
| | | | | ESCALA: | | | | | | | | | | | | |
| | | | | CÓDIGO: | 00029 | | | | | | | | | | | |