

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

MATTHEUS TORQUATO  
RODRIGO HOKAMA

**DIMENSIONAMENTO DO PROJETO MECÂNICO DO  
ACIONAMENTO DE UM *SKATE LONGBOARD* VOLTADO PARA  
MOBILIDADE URBANA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

CURITIBA  
2017

MATTHEUS TORQUATO  
RODRIGO HOKAMA

**DIMENSIONAMENTO DO PROJETO MECÂNICO DO  
ACIONAMENTO DE UM *SKATE LONGBOARD* VOLTADO PARA  
MOBILIDADE URBANA**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - TCC2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Msc. Sidney Carlos Gasoto

CURITIBA  
2017

## RESUMO

TORQUATO, Mattheus; HOKAMA, Rodrigo. DIMENSIONAMENTO DO PROJETO MECÂNICO DO ACIONAMENTO DE UM *SKATE LONGBOARD* VOLTADO PARA MOBILIDADE URBANA. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso II – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

O presente trabalho de conclusão curso tem por tema o dimensionamento do *powertrain* de um processo de acionamento de um *skate longboard*, sendo que tal processo e projeto são pensados na realidade das diretrizes da mobilidade urbana. A necessidade de se criar novos meios de transportes se deve ao fato dos meios urbanos estarem tomados por transportes públicos ineficientes, em relação às necessidades dos usuários e veículos particulares como uma das consequências ao fato anterior. É necessário se pensar em tecnologias futuras que atenderão às necessidades da sociedade que hoje são adolescentes/jovens, mas que em alguns anos determinarão o futuro das políticas públicas. A atual geração, classificada por muitos estudiosos como a Z e a próxima, difundida por Mark McCrindle, geração *alpha*, são as gerações que nasceram conectadas e possuem outra visão do mundo. Questões como a sustentabilidade, conectividade, as intensas e transientes relações diversas são o que mais determinam essas gerações. Desenvolver um projeto que atenda as necessidades evidentes da sociedade e que de igual modo contribuam para mudá-las, pensando em satisfazer gerações atuais e futuras, é um desafio multidisciplinar e de muitos estágios, conduzindo, portanto, uma restrição desta monografia a unicamente dimensionar o projeto mecânico de todo esse sistema necessário para acionar um *skate longboard* para a realidade requerida, desta forma, se trata inicialmente dos temas subjetivos que circundam o produto total, situando a mobilidade urbana e a realidade atual no desenvolvimento do projeto. Depois de definido o objetivo, se fundamenta teoricamente os elementos que constituem um *powertrain*, sendo sistema motriz e sistemas de transmissão. Os motores analisados são os BLDC, uma vez que eles guardam pequenas dimensões para altíssimas rotações e grandes potências. Já sobre os sistemas de transmissão, são analisadas as transmissões por correias, que guardam alta eficiência e são em maioria de baixo ruído, ideais portanto para a aplicação em questão. Posteriormente, se discute basicamente sobre a mobilidade urbana, de modo a situar essa realidade que circunda todo o projeto, visando mostrar a importância de que as soluções estejam de acordo com a mesma. Por fim, se discute uma metodologia de projetos, com o objetivo de guiar o trabalho a ser realizado, assegurando que as etapas definam produtos compatíveis. Após essa fundamentação, se adapta a metodologia para o objetivo especificado e tem-se: Primeiramente o levantamento das necessidades dos usuários, gerando a lista de requisitos do projeto; Posteriormente uma análise dos produtos similares no mercado, fornecendo a escolha do melhor arranjo para se dimensionar; Como terceira ação a monografia discorre sobre o dimensionamento do *powertrain*; Tendo como etapa final, a definição das etapas de montagem e finalização da lista de componentes.

**Palavras-chave:** *Skate* elétrico, mobilidade urbana, *brushless motor*.

## ABSTRACT

TORQUATO, Mattheus; HOKAMA, Rodrigo. DIMENSIONAMENTO DO PROJETO MECÂNICO DO ACIONAMENTO DE UM *SKATE LONGBOARD* VOLTADO PARA MOBILIDADE URBANA. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso II – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The topic of this final paper is mechanical designing for the automation of a longboard skate and it is based on the reality of brazilian urban mobility. The need to develop new means of transportation is because the public ones are inefficient, concerning the needs of the user, and the urban environment is completely flooded with private vehicles in consequence of the previous cause. It is necessary to think about future technologies to satisfy the wishes and desires of the society which today is young and in a couple of years will be determining the future of public policy. The current generation, classified by many scholars as Z generation, and the next one, defended by Mark McCrindle as alpha generation, are the ones that were born connected and have a different perspective of the world. Subjects like sustainability, connectivity, the intense and transient relationships, determine these generations. To develop a project that satisfy the needs of the society, and in the same way helps to change it, is very challenging. The challenge is multidisciplinary with a lot of steps, therefore this paper will concern only about the mechanical study involved on the development of the automation of a longboard skate to the urban mobility. So, initially the paper brings the subjective aspects of the project, contextualizing the topic and its objectives. Then, the theoretical validity is composed with the subjects: skate, urban mobility and mechanical design. After knowing the context that the product is inserted, the stages of the development of the mechanical system can be listed accordingly to the objectives established for this paper. The theoretical fundamentals are based on, the powertrain, motor explaining briefly how a BLDC motor works and comparing it with brushed motors and with induction motors, and power transmission giving the general idea of the possibilities of using certain types of transmission (different types of belts or CVT) for the project. Then it is described the brazilian urban mobility, to situate the purpose of use of the product designed. And to end these fundamentals, it is written about the use of an adaptation of a design methodology. After the theoretical fundamentals, the development takes it place and the first step is to analyze the project requirements from the benchmarking, followed by the selection of the solutions and requirements of the entries to evaluation, the powertrain design of the proposed system, the assembly steps, and the list of components used to make the mechanical system.

**Keywords:** *Skate elétrico, mobilidade urbana, brushless motor.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustração da seção do rotor de um motor BLDC. . . . .	13
Figura 2.2 – Ilustração do posicionamento do sensor de Hall. . . . .	14
Figura 2.3 – Tipos mais comuns de correias. . . . .	15
Figura 2.4 – Passos padronizados das correias de tempo. . . . .	17
Figura 2.5 – Ilustração do funcionamento de um CVT por polias variadoras. . . . .	17
Figura 2.6 – Ilustração do funcionamento de um CVT por rolamento. . . . .	18
Figura 2.7 – Ilustração do funcionamento de um CVT toroidal. . . . .	19
Figura 2.8 – As fases de projeto, identificando as diversas realimentações e repetições. . . . .	22
Figura 2.9 – Método proposto por Pugh. . . . .	23
Figura 6.1 – Fatores de serviço comuns para correias dentadas. . . . .	36
Figura 6.2 – Guia de seleção do passo da correia PowerGrip® GT®3. . . . .	37
Figura 6.3 – Tabela de correias de passo 5 mm. . . . .	38
Figura 6.4 – Especificação de buchas para passo 5mm PowerGrip® GT®2 de rodas dentadas. . . . .	38
Figura 6.5 – Tabela de seleção da largura da correia de passo 5 mm. . . . .	39
Figura 6.6 – Tabela de fator de correção da largura da correia de passo 5 mm. . . . .	39
Figura 6.7 – Ilustração do motor <i>brushless NTM Prop Drive Series 50-60 270kv 2400 W</i> . . . . .	41
Figura 6.8 – Ilustração do <i>ESC Turnigy Super Brain 100A</i> . . . . .	42
Figura 6.9 – Informações de 2 opções de baterias para o sistema. . . . .	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre motor BLDC e motor DC com escova. (YEDA-MALE, 2003) . . . . .	14
Tabela 2.2 – Comparação entre motor BLDC e motor AC de indução. (YEDA-MALE, 2003) . . . . .	15
Tabela 3.1 – Resumo da metodologia apresentada neste trabalho e justificativa de uso	25
Tabela 3.2 – Metodologia adaptada e as ações definidas para cada etapa. . . . .	26
Tabela 4.1 – Necessidades e requisitos do projeto. . . . .	28
Tabela 6.1 – Ficha técnica do <i>skate</i> elétrico. . . . .	32
Tabela 6.2 – Tabela para cálculo de inércia de carga e torque devido a inércia de componentes acelerados e desacelerados. . . . .	34
Tabela 6.3 – Parâmetros calculados para dimensionamento e seleção de componentes.	35
Tabela 6.4 – Componentes do sistema de transmissão por correia dentada. . . . .	39
Tabela 6.5 – Especificações do motor <i>NTM Prop Drive Series 50-60 270kv</i> . . . . .	40
Tabela 6.6 – Especificações do <i>ESC Turnigy Super Brain 100A</i> para motores <i>brushless</i> .	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	<b>8</b>
1.1	Contexto do Tema	8
1.2	Caracterização do Problema/Oportunidade	9
1.3	Objetivos	11
1.4	Justificativa	12
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>13</b>
2.1	Sistema Motriz	13
2.2	Sistemas de Transmissão	14
2.2.1	Transmissões por Correias	15
2.2.2	Correias Planas e Redondas	16
2.2.3	Correias em V	16
2.2.4	Correias de Tempo	16
2.2.5	Transmissão Continuamente Variável (CVT)	17
2.3	Mobilidade Urbana	19
2.4	Metodologia de Projeto	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DO PROJETO MECÂNICO DO ACIONAMENTO DE UM SKATE LONGBOARD</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE INICIAL</b>	<b>27</b>
4.1	Necessidades dos Usuários	27
4.2	Lista de Requisitos	28
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS PRODUTOS SIMILARES</b>	<b>29</b>
5.1	Lista de concepções e soluções	29
5.2	Arranjo selecionado	30
<b>6</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA</b>	<b>32</b>
6.1	Memorial de cálculos	32
6.2	Rodas dentadas e correia	35
6.3	Motor	40
6.4	Controle Eletrônico	41
6.5	Bateria	42
<b>7</b>	<b>MONTAGEM</b>	<b>45</b>
7.1	Preparação das Peças	45

7.2	Procedimentos de Montagem . . . . .	47
<b>8</b>	<b>LISTA DE COMPONENTES . . . . .</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>52</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>54</b>

## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A presente monografia consiste em dimensionar o sistema mecânico do projeto de acionamento de um *skate longboard*. Compreende-se que o trabalho se trata de apenas uma das etapas para a concepção do produto, porém, devido a este projeto estar incubado em uma empresa no hotel tecnológico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, foi restringido, já que o restante do projeto e obtenção do protótipo faz parte do objetivo da empresa. Desta forma, o presente capítulo procura fundamentar os aspectos que circundam o tema geral, bem como caracterizar a oportunidade de se desenvolver esse projeto, buscando também particularizar os objetivos para o tema específico proposto, justificando a escolha.

### 1.1 CONTEXTO DO TEMA

São tratados nesta seção os assuntos que circundam o projeto de se automatizar um *skate*, em linhas gerais. A motivação para criar um sistema capaz de movimentar um *skate* não se baseou apenas no interesse de efetivamente movê-lo sem grande esforço humano, passou por uma discussão de como este sistema seria capaz de modificar um produto existente e aprimorar o seu uso para que se tornasse um meio de transporte alternativo, transformando-o em um produto com outras aplicações, além do lazer e de instrumento de trabalho para atletas.

Temas como mobilidade urbana e portabilidade, passaram a se inserir nas discussões de como o desenvolvimento do projeto passaria a acontecer. "O transporte é um importante instrumento de direcionamento do desenvolvimento urbano das cidades. A mobilidade urbana bem planejada, com sistemas integrados e sustentáveis, garante o acesso dos cidadãos às cidades e proporciona qualidade de vida e desenvolvimento econômico"(Ministério das Cidades, 2013).

A forma como interagimos com os meios urbanos está sempre se transformando. Os jovens que já nasceram na era da informação, também já nasceram com uma liberdade muito ampla, se for considerado o fato de estarem conectados a praticamente tudo. Conforme consta no artigo do *The New York Times*, da jornalista Amy Choizick, "hoje *Facebook*, *Twitter* e mensagens de texto permitem que jovens se conectem sem rodas"(CHOZICK, 2012). Entretanto, esse jovem também busca não apenas se conectar virtualmente, mas também pessoalmente e nesse caso, os meios de transporte se tornam necessários.

Segundo o Instituto AKATU, os brasileiros preferem se deslocar pela cidade com

rapidez, conforto e segurança em relação a ter um carro. Mais sensibilizados e conscientizados sobre os problemas decorrentes do uso excessivo do carro e seus impactos para o planeta e para sua própria qualidade de vida, as pessoas terão mais disposição para escolher alternativas mais sustentáveis, como o transporte compartilhado e público ou a bicicleta (AKATU, 2013). O jovem já tem a percepção de que utilizar o carro é algo que não só prejudica o meio ambiente como também os indivíduos que nele vivem, por isso busca alternativas satisfazer sua necessidade de conectar fisicamente com a sociedade e meio ambiente, como também satisfazer sua consciência de que não está contribuindo para a depreciação dos dois itens aos quais ele pretende se conectar.

"As cidades têm sido moldadas para atender unicamente ao automóvel, arrastando o transporte público sem prioridade para uma crise de perda de atratividade"(ARAÚJO et al., 2011). É nesse contexto que este trabalho se insere, aproveitando o momento de crescimento da conscientização dos problemas gerados pelos meios de transportes mais comuns, associando-se ao campo da engenharia que busca solucionar problemas. Bem como, pela compreensão da necessidade de alteração do espaço urbano para as soluções alternativas, sejam em transportes alternativos, ou em alternativas de intermodalidade dos meios de transporte.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA/OPORTUNIDADE

Conforme discutido por Araujo et al. (2011), o espaço urbano, como é atualmente, tem sua estrutura voltada para o automóvel próprio, realidade essa que não atende os anseios tratados pelo Ministério das Cidades (2013), no que tange a integração dos sistemas e a aplicação dos conceitos de mobilidade urbana. Configurando, portanto, um problema atual, no qual se percebe um espaço urbano incapaz de trazer qualidade de vida, uma vez que ele é ineficiente em integrar o sistema público de transportes, com os automóveis próprios e com os meios de transporte alternativos, bem como, pela estrutura já esgotada nas cidades brasileiras devido ao número excessivo de automóveis.

Em paralelo a esta configuração errática dos transportes no espaço urbano, percebe-se uma tendência das gerações pelo uso dos transportes que causem o menor impacto social, ambiental e econômico, conforme sugerido pelo Akatu (2013). O que acaba por configurar a oportunidade de um cenário de aceitação de um meio de transporte alternativo que traga a possibilidade de se deslocar com segurança, conforto e rapidez, sem agredir o meio no qual ele se insere, que seja igualmente capaz de ser integrado ao espaço urbano, colaborando como parte de uma solução ao problema anteriormente elucidado, sendo intermodal para gerar atratividade ao meio de transporte público.

A interlocução dos temas abordados, problemas do espaço urbano atual e as tendências de uso, configuram a necessidade de mudança da realidade atual, seja ofertando

novos meios de transportes alternativos, que possam ser integrados aos demais, bem como sugerindo mudanças no espaço urbano que valorizem os transportes públicos e transportes alternativos, sendo também importante, a necessidade de se agregar qualidade de vida e desenvolvimento econômico ao desenvolvimento urbano, sejam por políticas públicas, por melhoria da infraestrutura, ou mesmo pela escolha dos transportes públicos e alternativos em detrimento do automóvel próprio.

Por fim, todos esses aspectos citados são parte daquilo que a mobilidade urbana pretende dialogar em suas diretrizes, sendo a Política Nacional de Mobilidade Urbana, instaurada desde 2012, a oportunidade maior em se desenvolver sistemas e meios de transporte que possam melhorar a relação do cidadão com o deslocamento e o espaço urbano.

Essa Política Nacional de Mobilidade Urbana está fundamentada nos seguintes princípios, como consta na Cartilha da Lei (Ministério das Cidades, 2013):

- Acessibilidade universal.
- Desenvolvimento sustentável das cidades nas dimensões socioeconômicas e ambientais.
- Equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo.
- Eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano.
- Gestão democrática e controle social do planejamento e avaliação da Política Nacional de Mobilidade Urbana.
- Segurança nos deslocamentos das pessoas.
- Justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços.
- Equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros.
- Eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana.

A reunião de todos esses fatores caracteriza o problema a ser tratado. Gerando, conseqüentemente, a oportunidade de se explorar a necessidade de mudança do espaço urbano, ofertando soluções que venham a desafogar a estrutura atual, atendendo a tendência daquilo que as novas gerações buscam no que tange o deslocamento. Sendo essa oportunidade o desenvolvimento de um meio de transporte alternativo com as seguintes características:

- Eficiente: Ser capaz de conduzir com qualidade o usuário por um período ou distância proposta;

- Confortável: Aspecto subjetivo tratado para designar um meio de transporte que em sua utilização traga satisfação e qualidade de vida. Seja em diminuir o tempo de deslocamento, ou pelo próprio lazer agregado na sua utilização;
- Seguro: Atender com qualidade os requisitos de segurança, evitando acidentes em sua plena utilização, bem como minimizando os riscos no espaço urbano de utilização;
- Portátil: Ter a capacidade de ser carregado para qualquer ambiente interno e externo, sem exigir demasiada força física ou um grande espaço. Objetivando-se que seja intermodal, ou seja, que esse meio de transporte possa ser utilizado de forma complementar aos outros meios de transporte;
- Sustentável: Aspecto bastante complexo no desenvolvimento de qualquer projeto, entende-se sustentabilidade como a capacidade de se utilizar materiais e sistemas que não tragam danos ao meio de ambiente, ou que esses danos sejam mensuráveis e superáveis por algum mecanismo de reciclagem;

Entendendo que um *skate longboard* guarda a capacidade de atender os requisitos citados, agregando lazer, sendo portátil e confortável, contando com o acionamento para que ele alcance o nível de eficiência necessário para ser um meio de transporte alternativo para pequenas e médias distâncias.

Compreende-se que um projeto do acionamento de um *skate* passa pelos aspectos técnicos de diferentes escolas de engenharia, bem como por aspectos subjetivos que estejam relacionados com o ambiente social e econômico. Tornando o projeto interdisciplinar e com implicações em diferentes campos da engenharia, economia, e ciências sociais.

Uma vez elucidado todos esses aspectos, pode-se compreender a inviabilidade de se tratar todos esses temas em um único trabalho. Deste modo, a presente monografia pretende explorar apenas parte de todo esse projeto de desenvolvimento, parte esta relacionada à engenharia mecânica, no que tange os aspectos estudados durante todo o curso de graduação.

### 1.3 OBJETIVOS

É definido como objetivo geral desta monografia o dimensionamento do *power-train* (motor, bateria, sistema de transmissão) desse sistema de acionamento do *skate*. Para se alcançar o objetivo geral, se propõe objetivos específicos:

1. Selecionar e adaptar uma metodologia;
2. Analisar, através de um *benchmarking*, as concepções existentes no mercado;

3. Selecionar dentre as concepções analisadas o melhor arranjo de componentes e soluções, listando os requisitos necessários, com seus respectivos dados de entrada;
4. Dimensionar o motor e a bateria, bem como o sistema de transmissão;
5. Projetar em CAD o que foi dimensionado para análises de viabilidade, definindo etapas e procedimentos de montagem;
6. Listar os componentes, gerando um orçamento estimado do projeto;
7. Definir os novos estudos relativos ao projeto;

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema se iniciou devido a motivação dos alunos em desenvolver um projeto próprio, utilizando os conhecimentos obtidos durante a graduação, estágio/trabalho e intercâmbio internacional, deste modo, somado ao fato de que o produto *skate* é comum ao cotidiano dos alunos, passou a se explorar uma oportunidade de se desenvolver um projeto que envolvesse *skates longboards*.

A motivação para o desenvolvimento desta monografia se dá também pelo fato de que a escolha viabiliza a possibilidade de se empreender o produto, e portanto, firmar desafios futuros a conclusão da graduação. Torna-se válido relembrar que os autores da monografia possuem o projeto do desenvolvimento do acionamento de um *skate longboard* hospedado no Hotel Tecnológico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, uma espécie de pré-incubadora para projetos de tecnologia, portanto, a motivação passa do aspecto pessoal dos alunos em desenvolver algo próprio, ganhando aspectos profissionais.

Outro aspecto relevante, no que tange a justificativa do trabalho é o fato de que os alunos autores compartilham das tendências discutidas nas seções anteriores, de modo que a execução do projeto é tratada como um importante passo de contribuição à mudança da realidade praticada atualmente.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

São tratados neste capítulo os itens que dizem respeito a um acionamento, dado o objetivo de se dimensionar o *powertrain*, são discutidos sistemas motrizes, sistemas de transmissão, a realidade de aplicação, mobilidade urbana, e por fim, é discutida uma metodologia para definição das etapas de trabalho.

### 2.1 SISTEMA MOTRIZ

Motores BLDC (*brushless direct current*) são motores síncronos, isto é, o campo magnético gerado pelo estator e o campo magnético gerado pelo rotor rotacionam na mesma frequência. Esse tipo de motor não sofre com deslizamentos como os motores de indução.

O estator dos motores BLDC são formados por um conjunto de lâminas de metal com enrolamentos posicionados nos vãos que são axialmente cortados ao longo da periferia interna. A maioria possui três enrolamentos no estator conectados em estrela. Os enrolamentos são formados por bobinas interligadas entre si e cada enrolamento é distribuído em torno do estator formando número pares de polos.

O rotor é composto de ímãs permanentes e pode variar de 2 a 8 polos, com eles alternados em Norte (N) e Sul (S). O material magnético mais apropriado para cada rotor depende da densidade do campo magnético necessário para o rotor. Este material pode ser de ferrita ou de ligas de terras raras, como por exemplo, neodímio, samário cobalto ou a liga neodímio, ferrita e boró. A figura 2.1 mostra a seção de um rotor.

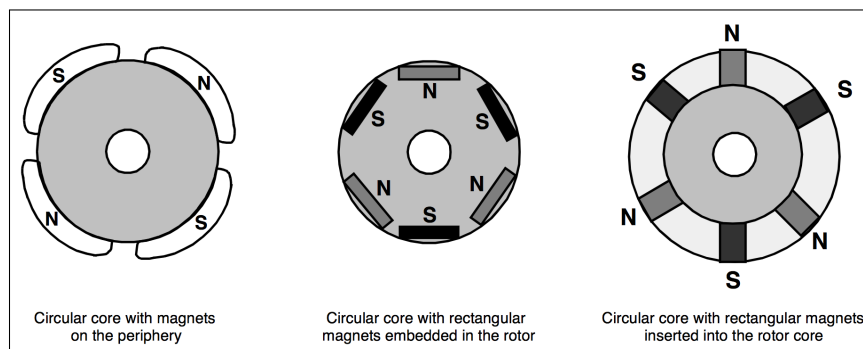


Figura 2.1 – Ilustração da seção do rotor de um motor BLDC.  
(YEDAMALE, 2003)

Para movimentar um motor BLDC é necessário energizar os enrolamentos em sequências e para isso é necessário identificar a posição do rotor para determinar a sequência de energização dos enrolamentos. Essa identificação é feita através de um sensor, cha-

mada de sensor Hall. São posicionados 3 destes sensores no estator, na parte não móvel do motor. Quando os polos magnéticos do rotor passam por esses 3 sensores, eles indicam em sinais elétrico de alta e baixa, indicando Norte ou Sul, respectivamente. Desta forma é possível saber exatamente a posição do rotor e determinar qual a sequência de energização dos enrolamentos. A figura 2.2 ilustra o posicionamento dos sensores no motor.

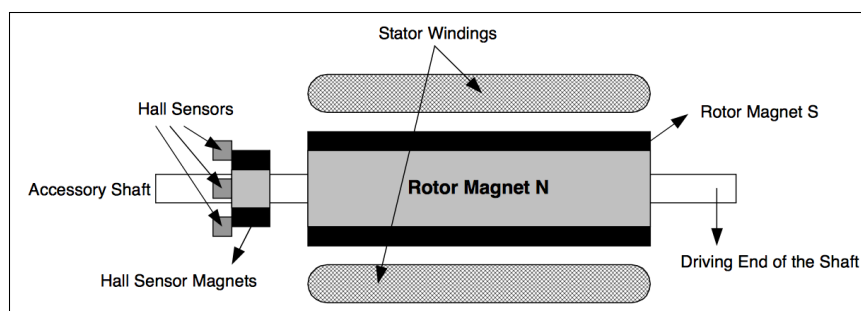


Figura 2.2 – Ilustração do posicionamento do sensor de Hall. (YEDAMALE, 2003)

Para efeito de comparação com outros tipos de motores, as tabelas 2.1 e 2.2, mostram um comparativo entre motor BLDC com motor com escova, e entre motor BLDC com motor de indução, respectivamente.

Tabela 2.1 – Comparação entre motor BLDC e motor DC com escova. (YEDAMALE, 2003)

Características	Motor BLDC	Motor com escova
Comutação	Comutação eletrônica por sensores Hall.	Comutação por escovas.
Manutenção	Baixa.	Periódica.
Vida	Longa.	Curta.
Velocidade/torque	Constante horizontal.	Constante horizontal até certa velocidade.
Eficiência	Alta.	Moderada.
Potência de saída	Alta.	Moderada/Baixa.
Inércia do rotor	Baixa, com rápida resposta dinâmica.	Alta, limitando característica dinâmicas.
Limite velocidade	Alta.	Baixa.
Ruído	Baixo.	Arcos das escovas geram ruídos.
Custo de construção	Alta, pois possui ímãs permanentes.	Baixa.
Controle	Complexo e caro.	Simple e barato.
Requisitos de controle	Controle sempre necessário. Pode variar a velocidade de rotação.	Não é necessário controle, a não ser que se queria variar a velocidade.

## 2.2 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO

São discutidos nessa seção diferentes sistemas de transmissão por correias e o sistema de transmissão por CVT.




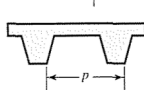
**Tabela 2.2 – Comparação entre motor BLDC e motor AC de indução. (YEDAMALE, 2003)**

Características	Motor BLDC	Motor com escova
Velocidade/torque	Constante e horizontal.	Não linear, baixo torque em baixa rotação.
Potência de saída	Alta.	Moderada.
Inércia de rotação	Baixa, boa característica dinâmica.	Alta, precárias características dinâmicas.
Corrente de partida	Nominal.	Aproximadamente 7x a nominal. Circuito de partida deve ser cuidadosamente selecionado.
Requisitos de controle	Controle sempre necessário. Pode variar a velocidade de rotação.	Não é necessário controle, a não ser que se queria variar a velocidade.
Deslizamento	Nenhum deslizamento entre rotor e estator.	Rotor rotaciona mais lento do que o estator por causa do deslizamento devido a frequência e aumenta com o aumento da carga aplicada ao motor.

### 2.2.1 TRANSMISSÕES POR CORREIAS

As correias são utilizadas para transporte e transmissão de potência para distâncias consideráveis. São substitutas para transmissões por engrenagens, eixos, mancais e outros dispositivos rígidos, pois em determinados casos simplificam o projeto e reduzem os custos. Conforme cita Shigley e Budynas (2004), as correias são elementos elásticos e normalmente muito longos, servindo para absorver cargas de choque e amortecer e isolar os efeitos da vibração.

Existem basicamente 4 tipos de correias: plana, redonda, em V e a de tempo, conforme é apresentado na figura 2.3.

Tipo de correia	Figura	Junta	Intervalo de tamanho	Distância de centro
Plana		Sim	$t = \begin{cases} 0,03 \text{ a } 0,20 \text{ in} \\ 0,75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	Nenhum limite superior
Redonda		Sim	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ in}$	Nenhum limite superior
V		Nenhuma	$b = \begin{cases} 0,31 \text{ a } 0,91 \text{ in} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
De tempo		Nenhuma	$p = 2 \text{ mm e acima}$	Limitada

**Figura 2.3 – Tipos mais comuns de correias. (SHIGLEY; BUDYNAS, 2004)**

Exceto as correias de tempo, existe algum deslize e lenta deformação, por isso a razão de velocidades angulares entres os eixos motores e movidos não é constante nem

exatamente igual à razão dos diâmetros das polias.

### 2.2.2 CORREIAS PLANAS E REDONDAS

As transmissões por correias planas são constituídas por um forte núcleo elástico rodeado por um elastômero. Possuem eficiência de cerca de 98%, produzindo pouco ruído e absorvendo mais vibração torcional do sistema do que transmissões em correia em V ou de engrenagens.

### 2.2.3 CORREIAS EM V

As dimensões das correias em V foram padronizadas pelos próprios fabricantes, em que cada secção designada por uma letra do alfabeto corresponde a tamanhos diferentes, em polegadas. A eficiência da transmissão por correias em V está entre 70% a 96%. Algumas características desse tipo de correia são: potência máxima de 1100 kW (1500 HP), velocidade tangencial ideal de 20 m/s, relação de transmissão ideal de 1:8 (com máximo de 1:10), são contínuas e de fácil desmontagem, quanto mais curta menor a vida útil em fadiga.

As vantagens são: baixo deslizamento, permite o uso de polias bem próximas, elimina os ruídos e choques de correias emendadas, pode-se utilizar várias correias na mesma polia e partida com menor tensão prévia do que a correia plana.

### 2.2.4 CORREIAS DE TEMPO

Conforme Shigley e Budynas (2004) a correia de tempo é constituída de um tecido emborrachado revestido, por sua vez, de um tecido de náilon e tem, em seu interior, fio de aço para suportar a carga de tensão. Ela não estica apreciavelmente ou desliza, fazendo-a transmitir potência a uma razão constante de velocidade angular. Além de que nenhuma tensão inicial é necessária.

As correias de tempo, também chamadas de dentada ou sincronizadora, pode operar em um intervalo muito amplo de velocidade angular. Possuem eficiência entre 97% e 98%, não requerem lubrificação e são mais silenciosas do que a transmissão de corrente.

O fio de aço, o membro da tensão de uma correia de tempo, está localizado na linha de passo da correia. Portanto, o comprimento de passo é o mesmo, independente da espessura do reforço.

Os cinco passos padronizados da série em polegadas são mostrados na figura 2.4.

Serviço	Designação	Passo $p$ , in
Extraleve	XL	$\frac{1}{5}$
Leve	L	$\frac{3}{8}$
Pesado	H	$\frac{1}{2}$
Extrapesado	XH	$\frac{7}{8}$
Duplamente extrapesado	XXH	$1\frac{1}{4}$

Figura 2.4 – Passos padronizados das correias de tempo (SHIGLEY; BUDYNAS, 2004)

### 2.2.5 TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL (CVT)

O termo CVT se refere a *continuously variable transmission* e é um dispositivo com relações de transmissão infinitas dentro de uma faixa de trabalho. A classificação pode ser dada quanto a forma de transmissão de potência, por fricção e por tração. Por fricção temos, CVT por polias variadoras ou expansivas. E por tração, CVT por rolamentos ou toroidal. Segundo Bianchi (2009), a distinção entre CVT por fricção e por tração está no fato do primeiro operar a seco enquanto o outro opera com lubrificação. A dificuldade na diferenciação é quando se identifica que nos CVTs por tração pode haver contato seco entre os componentes, o que gera dúvidas na distinção.

O CVT por polias variadoras é composto basicamente por uma correia ou corrente e duas polias cônicas bipartidas, conforme mostra a figura 2.5. O deslocamento axial relativo das semipeças de cada polia faz com que o raio de contato com a correia seja alterado. Quando as semipeças de uma polia se afastam, as da polia oposta se aproximam, Bianchi (2009).



Figura 2.5 – Ilustração do funcionamento de um CVT por polias variadoras. (BIANCHI, 2009)

Ainda segundo Bianchi (2009), muitos efeitos indesejáveis e perdas surgem da interação dinâmica entre polias e correias/correntes, como o *stick-slip* e as vibrações auto excitadas (principalmente no caso das correntes, devido aos impactos sucessivos dos pinos com as polias). Para minimizar esses efeitos, um subsistema que é o controle, o qual contempla sensores, algoritmos e demais componentes eletrônicos, devem ser bem di-

mentionado. Boa parte do custo final provém desse subsistema, pois é o que garantirá efetivamente a eficiência e eficácia da transmissão.

No CVT por rolamento o torque é transmitido por meio de contato entre dois anéis e esferas intermediárias. Segundo Bianchi (2009), pelo deslocamento axial do anel externo, os pontos de contato das esferas são alterados, bem como o anel interno. A presença de uma mola mantém o contato entre esferas e anel interno. Tal deslocamento axial provoca alteração no ângulo de contato entre esferas e anéis, resultando em modificação na relação de transmissão. A figura 2.6 ilustra esse tipo de CVT.

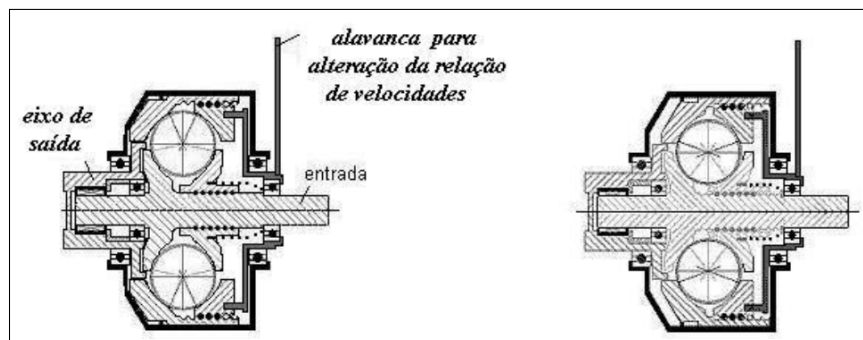


Figura 2.6 – Ilustração do funcionamento de um CVT por rolamento. (BIANCHI, 2009)

Devido a elevada massa das esferas, esse tipo de CVT possui elevada capacidade de carga. Porém gera altos valores de pressão de contato durante o movimento, resultando em redução da vida útil com incremento da velocidade.

O CVT toroidal funciona com o uso de dois semitoróides, com acionamento eletro-hidráulico, fazendo assim a ligação entre os discos de entrada (virabrequim) e de saída (árvore de transmissão). A figura 2.7 exemplifica o funcionamento desse sistema de forma mais clara.

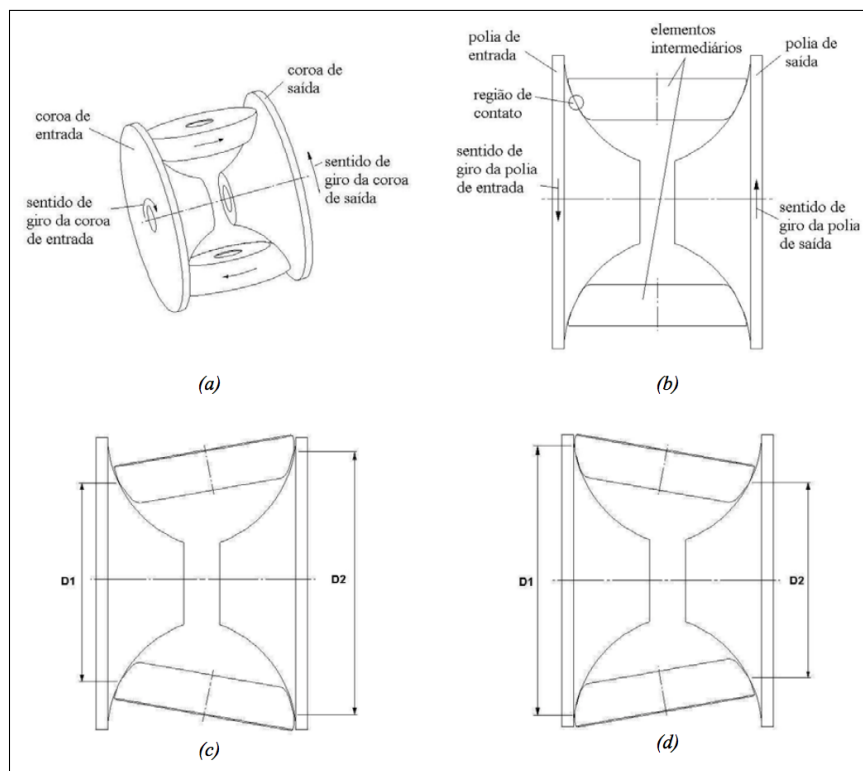


Figura 2.7 – Ilustração do funcionamento de um CVT toroidal. (BIANCHI, 2009)

A grande vantagem do CVT toroidal é a grande capacidade de trabalhar com torques elevados e de poder ser montado longitudinalmente, proporcionando a possibilidade de um automóvel ter tração traseira. As desvantagens são o alto custo, a perda de propriedades dos lubrificantes do fluido em baixas temperaturas e o grande avanço das transmissões CVTs por correias ou correntes e polias variadoras.

### 2.3 MOBILIDADE URBANA

A mobilidade urbana é definida na Lei N<sup>o</sup> 12.587 Art. 4o como "condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano". A mobilidade urbana bem planejada, com sistemas integrados e sustentáveis, garante o acesso dos cidadãos às cidades e proporciona qualidade de vida e desenvolvimento econômico (Ministério das Cidades, 2013).

Segundo o The European Research Forum for Urban Mobility (EURFORUM) (2007), mobilidade urbana pode ser compreendida como o transporte urbano de pessoas e cargas para fora e dentro da cidade, incluindo sua conurbação. Incluem-se usuários e suas relações, meios que geram os deslocamentos, como os deslocamentos são planejados e operados, o sistema de transporte urbano (infraestrutura, diferentes modais, veículos, planejamento, gerenciamento e operação, entre outros), bem como os impactos do transporte.

O agravamento dos problemas de transportes e a necessidade de uma nova abordagem para o planejamento da mobilidade têm motivado a adoção dos conceitos de sustentabilidade, resultando em uma série de estudos e documentos, os quais apresentam definições distintas para o tema, ao mesmo tempo em que abordam diferentes questões em sua formulação (COSTA, 2008). Por isso o conceito de mobilidade urbana teve que ser reformulado, passando a ser o de mobilidade urbana sustentável.

Adaptada à definição padrão, a sustentabilidade em transportes consiste em atender as necessidades de acessibilidade e mobilidade atuais e futuras com reflexos positivos nas dimensões ambiental, econômica e social (SEABRA; DOMINGUEZ, 2013).

No Brasil, a difusão do conceito de mobilidade sustentável tem sido coordenada pelo Ministério das Cidades, através da Secretaria Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana Costa (2008). A Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana (SeMob 2016), entende que a política de mobilidade urbana sustentável é “a reunião das políticas de transporte e de circulação e integrada com a política de desenvolvimento urbano e com a finalidade de proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, priorizando os modos de transporte coletivo e os não-motorizados, de forma segura, socialmente inclusiva e sustentável”.

A Política Nacional de Mobilidade Urbana é orientada pelas seguintes diretrizes (Ministério das Cidades, 2013).

- Integração com a política de desenvolvimento urbano e respectivas políticas setoriais de habitação, saneamento básico, planejamento e gestão do uso do solo no âmbito dos entes federativos.
- Prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado.
- Integração entre os modos e serviços de transporte urbano;
- Mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade.
- Incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes.
- Priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado.
- Integração entre as cidades gêmeas localizadas na faixa de fronteira com outros países sobre a linha divisória internacional.

E pelos seguintes objetivos:

- Reduzir as desigualdades e promover a inclusão social.
- Promover o acesso aos serviços básicos e equipamentos sociais.
- Proporcionar melhoria nas condições urbanas da população no que se refere à acessibilidade e à mobilidade.
- Promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades.
- Consolidar a gestão democrática como instrumento e garantia da construção contínua do aprimoramento da mobilidade urbana.

## 2.4 METODOLOGIA DE PROJETO

Segundo Bomfim (1995), metodologia é definida como o estudo de métodos, técnicas e ferramentas e de suas aplicações no que tange a definição, organização e solução de problemas, sejam teóricos ou práticos.

Esta seção traz a abordagem da metodologia de projeto mecânico, proposta por Shigley e Budynas (2004), sendo baseada na interdisciplinaridade do desenvolvimento, proposto por Pugh (1991). O pleno desenvolvimento do sistema mecânico proposto é baseado na adaptação dessa metodologia para o caso específico de trabalho.

Segundo Shigley e Budynas (2004) projetar é formular um plano para atender uma necessidade específica ou resolver um problema. Segundo o autor, se esse plano resultar na criação de algo concreto, então o produto deverá ser funcional, seguro, confiável, competitivo e próprio para ser usado, fabricado e comercializado.

É discutido pelo autor supracitado que o processo de projetar é algo inovador e altamente repetitivo, além de ser uma atividade multidisciplinar que exige uma intensa comunicação das partes envolvidas, utilizando toda sorte de elementos visuais além das palavras.

Com a compreensão do que é projeto e da complexidade existente, Shigley e Budynas (2004) propõe fases e interações do processo de projeto, que pode ser compreendido como uma metodologia, sendo a figura 2.8 o esquema dessas fases e interações.

O método proposto por Shigley e Budynas (2004) se inicia com a identificação da necessidade. O autor discute que esta etapa inicial não é evidente, uma vez que a necessidade não se expressa por meio metódicos e sistemáticos. Ou seja, muitas vezes identificar a necessidade, segundo o autor, é compreender algo intangível, um desconforto do sistema por exemplo.



**Figura 2.8 – As fases de projeto, identificando as diversas realimentações e repetições.**

**Fonte: Shigley e Budynas (2004).**

A etapa seguinte, segundo Shigley e Budynas (2004) se diferencia da primeira no aspecto de especificações, ou seja, a etapa de definição do problema, consiste em caracterizar as especificações necessárias para a produção do projeto. Isso passa pela compreensão de todos os fatores que tem influência no projeto e pela análise do peso que cada um desses fatores terá no desenvolvimento. Haja vista que haverá aspectos implícitos que não poderão ser definidos, o autor propõe o entendimento da primeira iteratividade do processo, onde constantemente se revisitará as decisões tomadas, com objetivo de garantir a definição consistente do problema.

Ainda segundo o autor, a etapa de síntese, posterior a definição do problema pode ser vista como a etapa de concepção, similar ao projeto conceitual proposto por Pahl et al. (2005). Shigley e Budynas (2004) afirma que nesta etapa vários esquemas devem ser propostos, investigados e avaliados em termos da métrica estabelecida. Ainda segundo o autor, à medida que as concepções vão ganhando forma devem ser realizadas análises para verificar seu desempenho, e a medida que as concepções vão sendo aprovadas é verificado se não é possível otimizar o sistema para se obter um resultado melhor que o anterior, destacando, portanto que a fase de síntese e análise e otimização estão íntima e repetidamente ligados.

É proposto por Shigley e Budynas (2004) que a etapa de análise e otimização venha a criar modelos abstratos da solução, de modo a se obter de um desses modelos algum que recrie a realidade física real, tornando a fase de avaliação a chave do processo, pois a avaliação desse modelo definirá se o projeto atende aquilo que precisa atender, e se atende de uma forma satisfatória e viável.

Com as propostas definidas, Shigley e Budynas (2004) reafirma a necessidade de se enxergar a repetitividade do processo, uma vez que qualquer decisão que possa ser tomada pode vir a influenciar outras decisões, logo, deve se reavaliar os sistemas afetados, deste modo, para o autor, tem-se a solução do problema proposto na forma de um projeto, o qual precisa ser apresentado a terceiros para garantia de execução.

A interdisciplinaridade é a principal causa da repetitividade do processo segundo Pugh (1991). Isso ocorre, porque o mercado exige que o produto atenda a todas as áreas na qual ele atua, logo os projetos segundo o autor nunca são específicos de uma única área de conhecimento. O método proposto nesta seção é baseado nessa interdisciplinaridade e na visão de mercado proposta Pugh (1991). O método de Pugh deixa claro a iteratividade e a interdisciplinaridade do ato de projetar, como mostra a figura 2.9.

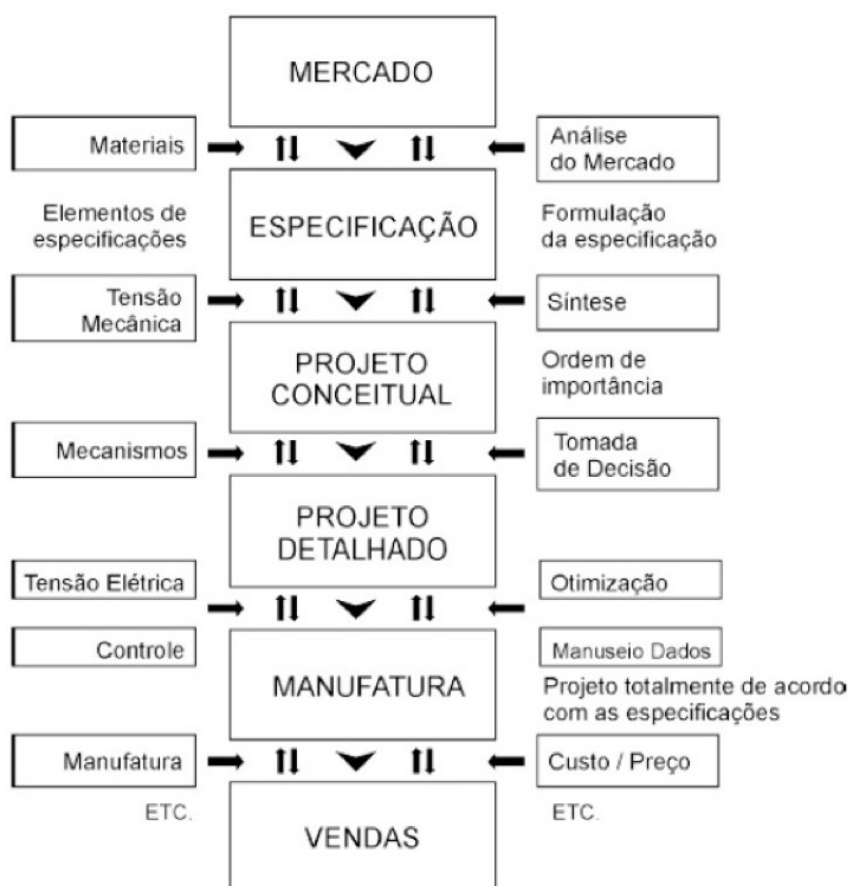


Figura 2.9 – Método proposto por Pugh.  
 Fonte: Pugh (2002).

### **3 METODOLOGIA PARA DIMENSIONAMENTO DO PROJETO MECÂNICO DO ACIONAMENTO DE UM *SKATE LONGBOARD***

A metodologia escolhida para a realização do dimensionamento foi a de Shigley e Budynas (2004), proposta em seu livro *Mechanical Engineering Design*. A justificativa para tal escolha se dá no fato de que o objetivo do trabalho se trata de um dimensionamento, e muitas das ferramentas de dimensionamento de vários elementos são propostos por esses autores em seu livro. Tendo, portanto, nessa metodologia as etapas necessárias para a realização do objetivo.

A metodologia propõe desde a concepção até a apresentação final de um projeto qualquer. Tendo em vista os aspectos tratados no capítulo 1 desta monografia, e sendo o dimensionamento do projeto mecânico apenas parte do todo, não serão contempladas todas as etapas da metodologia. Sendo especificados na tabela 3.1, os itens que serão utilizados.

**Tabela 3.1 – Resumo da metodologia apresentada neste trabalho e justificativa de uso**

Metodologia de desenvolvimento de projeto (SHIGLEY; BUDYNAS, 2004)	Justificativa da utilização das etapas
<p>Identificação da necessidade</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição do que o projeto visa atender.</li> </ul> <p>Definição do problema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificação do que é necessário para atendimento da necessidade, em aspectos técnicos e econômicos.</li> </ul> <p>Síntese</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação das concepções para atender as necessidades;</li> <li>• Elaboração das funções chaves que o projeto possui;</li> <li>• Verificação da viabilidade técnica das soluções;</li> <li>• Aplicação de métodos de dimensionamento e critérios de projeto para definição de dados acervativos.</li> </ul> <p>Análise e otimização</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise técnica e verificação do arranjo calculado na etapa anterior;</li> <li>• Otimização das concepções e dos arranjos, afim de tornar o projeto melhor.</li> </ul> <p>Avaliação</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de protótipo que simule a situação de atuação do projeto;</li> <li>• Avaliação do protótipo em termos da métrica utilizada no projeto quanto a viabilidade, eficiência e eficácia;</li> </ul> <p>Apresentação</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Divulgação da análise do protótipo, bem como a documentação do projeto em si para a apresentação a terceiros, sejam usuários ou fomentadores do projeto.</li> </ul>	<p>Não será utilizada. Pois o capítulo 1 desta monografia envolve todos os aspectos relativos ao levantamento da necessidade em se desenvolver o projeto.</p> <p>Será utilizada. Nesta etapa são especificados as necessidades e os requisitos que o projeto visa atender.</p> <p>Será utilizada. Esta etapa consiste inicialmente na análise das concepções e soluções encontradas no mercado, levantadas através de um <i>benchmarking</i>. Posteriormente, se seleciona o melhor arranjo dessas concepções e soluções, objetivando-se deixar claro os itens que serão dimensionados pelos métodos e cálculos específicos.</p> <p>Será utilizada. Nesta etapa, com o dimensionamento concluído inicia-se a etapa de projeto 3D em CAD, onde as soluções são aprimoradas para garantir uma perfeita montagem.</p> <p>Não será utilizada. A equipe entende que a fase de prototipagem deve acontecer quando o sistema de controle for também dimensionado, para evitar a compra de componentes que podem ser alterados em algum detalhe de montagem. Esta etapa é entendida como um trabalho futuro.</p> <p>Será utilizada. Entretanto, a apresentação será do projeto 3D, nos seus desenhos de montagem e de usinagem/corte. Fornecendo uma lista de materiais, uma lista de procedimento de montagem. Bem como um orçamento estimado do projeto.</p>

**Fonte: Autoria própria.**

**Tabela 3.2 – Metodologia adaptada e as ações definidas para cada etapa.**

Metodologia adaptada	Ações
<p>Definição do problema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificação do que é necessário para atendimento da necessidade, em aspectos técnicos e econômicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamento das necessidades;</li> <li>• Lista de requisitos do projeto;</li> </ul>
<p>Síntese</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação das concepções para atender as necessidades;</li> <li>• Elaboração das funções chaves que o projeto possui;</li> <li>• Verificação da viabilidade técnica das soluções;</li> <li>• Aplicação de métodos de dimensionamento e critérios de projeto para definição de dados acervativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benchmarking;</li> <li>• Lista de concepções e soluções;</li> <li>• Análise e seleção das concepções e soluções;</li> <li>• Memorial de cálculos;</li> <li>• Dimensionamento: Motor e Bateria Sistema de Transmissão</li> </ul>
<p>Análise e otimização</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise técnica e verificação do arranjo calculado na etapa anterior;</li> <li>• Otimização das concepções e dos arranjos, afim de tornar o projeto melhor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto 3D.</li> <li>• Definição/criação das fixações e acoplamentos.</li> <li>• Definição das etapas de montagem.</li> </ul>
<p>Apresentação</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detalhamento técnico do projeto, e a apresentação das listas de materiais e de procedimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detalhamento do projeto 3D.</li> <li>• Lista de materiais.</li> <li>• Procedimento de montagem.</li> </ul>

**Fonte: Autoria própria.**

## 4 ANÁLISE INICIAL

Este capítulo trata sobre a abordagem inicial do dimensionamento do *powertrain*, definindo as necessidades que o sistema deve atender, gerando assim a lista de requisitos do projeto.

Compreende-se que o produto final, *skate longboard* motorizado, deve ser um meio de transporte alternativo, sem perder suas características de lazer e liberdade. A realidade na qual esse produto deve operar é o espaço urbano pensado sob a ótica da mobilidade urbana.

Deste modo, busca-se inicialmente entender quais são as necessidades que o produto deve atender, refinando as informações para entender aquilo que o *powertrain* a ser dimensionado deve conter.

### 4.1 NECESSIDADES DOS USUÁRIOS

Olhando para os desafios que um meio de transporte deve superar, ao se olhar o espaço urbano atual, percebe-se que o usuário naturalmente espera que seu meio de transporte seja:

- Capaz de se deslocar em diferentes inclinações: O espaço urbano, seja em seus centros, ou em áreas deslocadas do centro, possui diferentes relevos. Característica essa comum a quase a totalidade das cidades brasileiras. Portanto, um meio de transporte alternativo para que seja efetivo, deve ser capaz de se deslocar em um plano horizontal, e em planos inclinados.
- Capaz de conduzir usuários de elevado peso: Outra necessidade que se levanta na realidade de aplicação do produto é o peso do usuário. Para que o meio de transporte seja efetivo, ele deve primeiro suportar usuários de elevado peso sem que os componentes falhem, e pensando em necessidade de deslocamento, o produto deve conduzir este mesmo usuário numa velocidade aceitável.
- Autônomo para pequenos e médios deslocamentos: Esperasse de um meio de transporte alternativo que ele seja capaz de deslocar o usuário para o seu destino e trazê-lo de volta para seu ponto de origem usando seus elementos de alimentação e força. Deste modo, a necessidade que se levanta ao se olhar a mobilidade urbana e o espaço urbano atual, é de que o produto final seja capaz de deslocar o usuário por pequenos e médios deslocamentos.

- Leve, portátil e seguro: Um usuário tende a definir efetividade de um meio de transporte alternativo pela sua facilidade de uso, o que compreende o espaço físico de se transportar e guardar o mesmo. Deste modo, o usuário tem a necessidade que o produto final seja leve, não gere desconforto ao carregá-lo; que seja portátil, sendo possível de carregá-lo dentro de outros modais, como ônibus; e que seja seguro, de modo que a sua utilização não traga riscos ao usuário.

## 4.2 LISTA DE REQUISITOS

Conforme discutido por Shigley e Budynas (2004) as necessidades dos clientes/usuários é a fonte da lista de requisitos que o projeto a ser desenvolvido deve conter.

Deste modo, definidas as necessidades dos usuários do produto final, é definida a lista de requisitos do projeto específico. Ou seja, a lista dos requisitos apresentadas na tabela 4.1 diz respeito ao objetivo desta monografia, o dimensionamento do *powertrain* de um *skate longboard*.

Os requisitos são apresentados na tabela a seguir:

**Tabela 4.1 – Necessidades e requisitos do projeto.**

Necessidade	Requisito
Deslocar em inclinações	O <i>powertrain</i> deve ser dimensionado para as inclinações comuns do relevo das cidades brasileiras, que variam normalmente entre 15% a 30%.
Deslocar usuários de elevado peso.	O sistema a ser dimensionado deve contemplar aquilo que se entende de um usuário pesado. Para os autores, o valor definido é em torno de 100kg .
Autonomia para pequenos e médios deslocamentos	Dada a realidade das cidades brasileiras, compreende-se um deslocamento de 10km como um médio deslocamento. Portanto a autonomia mínima do sistema deve ser de 20km.
Leveza, portabilidade e segurança	O sistema a ser dimensionado deve conter motores pequenos e leves, da mesma forma que a bateria deve ser a que forneça a melhor autonomia sem comprometer peso ou dimensão. O sistema de transmissão da mesma forma deve ser leve e de pequena dimensão. Entende-se que o produto já possui a capacidade de ser leve e portátil, portanto o sistema a ser acoplado ao <i>skate</i> deve permitir um uso seguro do produto, e não deve alterar significativamente o peso e as dimensões do <i>skate</i> .

**Fonte: Autoria própria.**

## 5 ANÁLISE DOS PRODUTOS SIMILARES

São discutidas nas metodologias de modo geral que existem duas formas clássicas de se obter os requisitos do usuário, conseguindo alcançar deste modo os dados de entrada do sistema que se pretende projetar. São essas formas o questionário dos usuários, e/ou a análise dos produtos similares no mercado.

O questionário envolve uma análise profunda sobre quem são os possíveis usuários, e quais questões os ajudariam a melhor expressar aquilo que eles esperam do produto. Uma vez que é incomum um usuário expressar suas vontades em aspectos objetivos. Entretanto, devido a inexistência de um produto igual ao que se pretende projetar na realidade brasileira, e o fato de que o produto já é realidade nos mercados externos, foi considerado que um questionário seria menos proveitoso que a análise dos produtos similares através de um *benchmarking*.

Para a realização deste *benchmarking* foram consideradas as avaliações de um site especializado em avaliações, o qual elege as melhores escolhas de produto. O site em questão é o <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/best-electric-skateboards/> com acesso em 11/04/2017 às 14h57. Com atualização no dia 05/06/2017 às 08h04.

O apêndice A mostra a tabela com todos os itens detalhados provenientes da análise. Conforme pode ser visto no referido apêndice, os itens que seriam selecionados estão em destaque na cor amarela e são: 1 - Potência; 2 - Velocidade final; 3 - Inclinação da rampa; 4 - Autonomia; 5 - Peso do usuário; 6 - Diâmetro das rodas; 7 - Sistema motriz.

### 5.1 LISTA DE CONCEPÇÕES E SOLUÇÕES

A análise dos produtos similares fornece a oportunidade de se avaliar de modo comparativo as concepções e soluções de cada produto. Os itens a serem analisados são:

- Sistema motriz:

*BLDC Motor*: Escolha mais presente nos produtos analisados, e isso se deve a altíssima rotação dos modelos utilizados, em torno de 30000 a 40000 rpm, somada a grande potência, na faixa de 1500W a 2500W, fornece capacidade plena de transformar um *skate longboard* em um produto que alcance velocidades satisfatórias e tenha força suficiente para ser considerado um meio de transporte alternativo.

*External BLDC Rotor*: Escolha mais sofisticada dentre os produtos analisados. Sendo uma alteração na forma construtiva do motor BLDC para que a carcaça do motor que seja o elemento que gira, ou seja, eixo fixo e carcaça móvel. Essa solução

facilita o acionamento do *skate longboard* uma vez que elimina a necessidade de um sistema de transmissão, entretanto torna mais sofisticado o projeto de controle para garantir o uso do motor. Outro detalhe a ser considerado, é que essa solução se torna a “roda” do *skate*, sendo necessário que o motor seja encapado com o material da roda de um *skate* convencional, tornando essa solução uma concepção dependente do desenvolvimento de técnicas de encapamento do motor.

- Sistemas de transmissão:

Polias e correias sincronizadoras: Solução mais frequente que acompanha o motor BLDC. As rodas dentadas, com sua respectiva correia dentada, fornecem uma transmissão de alta eficiência e de baixo ruído.

Engrenagens: Soluções com pequena eficiência quando comparadas as polias e correias sincronizadoras, além de possuírem um nível de ruído superior.

As soluções e concepções analisadas são sobre o sistema motriz e o sistema de transmissão, porque entende-se que esses sistemas são os que definem o arranjo dos outros sistemas.

O sistema escolhido a ser dimensionado é o sistema motriz de motor BLDC e o sistema de transmissão é o que utiliza polias e correias sincronizadoras. Essa escolha se dá pois os motores escolhidos são mais acessíveis no mercado, uma vez que já são aplicados em aeromodelismo, e não envolvem desenvolvimento com fornecedor para encapar. Já o sistema de transmissão tem sua escolha justificada pelo baixo ruído que possui e por ter a melhor configuração de eficiência e pequenas dimensões.

## 5.2 ARRANJO SELECIONADO

O objetivo de se fazer essa análise dos produtos similares é alcançar uma lista do melhor arranjo de entrada do sistema. Sendo ele:

- Potência: 1500W – 2500W;
- Velocidade Final: 20km/h – 35km/h;
- Inclinação: 15% - 30%;
- Autonomia: 20km – 30km;
- Peso do usuário: 99,8kg – 136Kg;
- Diâmetro das rodas: 70mm – 90mm;
- Sistema motriz: Motor BLDC;

Os dados do melhor arranjo conforme mostrado, com exceção do sistema motriz, são um intervalo de valores. Compreende-se que o processo de dimensionar um sistema guarda características singulares de iteratividade. Deste modo, fixar um valor poderia causar uma restrição extrema no processo de dimensionamento.

Deste modo, buscou-se ao escolher os valores em questão que eles fossem plausíveis a realidade de aplicação do projeto mecânico. Por exemplo, se o arranjo final dimensionado alcançar os valores mínimos em cada item ele será aceito dentro da realidade de meio de transporte alternativo, do mesmo modo caso ele tivesse valores próximos ou iguais aos limites superiores de cada item ele também seria aceito. O que permite a equipe de trabalho, buscar durante o dimensionamento um arranjo eficiente dentro desta faixa de operação.

## 6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Este capítulo contempla a parte técnica do desenvolvimento do sistema mecânico para movimentar eletricamente um *skate*. As etapas consistem em primeiro verificar quais forças atuam no *skate* que devem ser vencidas e qual velocidade máxima se deseja atingir, para que se possa determinar o torque e rotação máxima, e conseqüentemente, a potência máxima. Em seguida são selecionados a correia e as rodas dentadas através de um manual de um fabricante. E por último, a seleção do motor, conforme torque, rotação e potência; do controle, conforme recomendação do motor; e da bateria, conforme autonomia desejada, dimensões e preço. Portanto, as etapas ficam da seguinte maneira:

1. Memorial de cálculos
2. Correia e rodas dentadas
3. Motor
4. Controle eletrônico
5. Bateria

### 6.1 MEMORIAL DE CÁLCULOS

Inicia-se o dimensionamento dos componentes mecânicos através de requisitos como máximo peso do usuário e de performance do equipamento, como por exemplo, velocidade máxima que se deseja atingir e grau de inclinação (ou porcentagem) que estará sujeito nas vias. A tabela 6.1 apresenta a ficha técnica do *skate* elétrico:

**Tabela 6.1 – Ficha técnica do *skate* elétrico.**

Peso máximo suportado	100kg
Peso do <i>skate</i>	8kg
Velocidade máxima (horizontal)	20km/h
Velocidade máxima (inclinado)	15km/h
Tempo de aceleração	7 segundos
Diâmetro da roda	80mm
Coefficiente de atrito estático	0,6

Das considerações em relação a distribuição de forças estão, distribuição de peso do usuário igual para as 4 rodas e a tração de apenas uma roda. As forças de aceleração e desaceleração são consideradas iguais, e por este motivo os cálculos para acelerar e desacelerar são os mesmos. Entretanto para simplificação de terminologias será utilizado apenas o termo aceleração para ambos os casos.

O toque necessário para vencer a força de atrito entre roda e contato e a força de aceleração é calculado pelas equações, de atrito 6.1 e de aceleração 6.2, somadas e resultado multiplicado pelo diâmetro da roda que é especificada como 80 mm, conforme a ficha técnica da tabela 6.1. Resultando em um torque de 9779 N.mm, pela equação 6.3.

$$F_{at} = \mu_e \cdot (W_{user} + W_{skate}) \cdot 9,8 \quad (6.1)$$

$$F_{acel} = (W_{user} + W_{skate}) \cdot \frac{V_{max}}{3,6 \cdot t_{acel}} \quad (6.2)$$

$$T_{horizontal} = D_{roda} \cdot (F_{at} + F_{acel}) \quad (6.3)$$

Através de conceitos apresentados por (SILVEIRA, 2007), a máxima inclinação da via que o *skate* poderá subir sem deslizar as rodas, ou seja, mantendo a roda tracionada. A equação 6.4 fornece essa máxima inclinação de 11° ou 20% de inclinação.

$$\theta = \arctg\left(\frac{\mu_e}{3}\right) \quad (6.4)$$

A partir da inclinação máxima é possível calcular o torque necessário para se deslocar nessa condição. Somando-se as forças de atrito, 6.6, de peso na mesma direção e sentido da anterior, 6.5, e da força de aceleração 6.2 temos que o torque é de 11.731 N.mm, 6.7 para uma roda de 80 mm de diâmetro.

$$P_x = (P_{user} + P_{skate}) \cdot 9,8 \cdot \text{sen}(11^\circ) \quad (6.5)$$

$$F_{at,inc} = \mu_e \cdot (W_{user} + W_{skate}) \cdot 9,8 \cdot \text{cos}(11^\circ) \quad (6.6)$$

$$T_{inc} = D_{roda} \cdot (P_x + F_{at} + F_{acel}) \quad (6.7)$$

Partindo de outra condição da ficha técnica que é a velocidade máxima, é possível calcular a rotação máxima para as duas condições básicas de operação, plano horizontal e plano de inclinação máxima. Através das equações, 6.8 e 6.9. As quais resultam em 1326 RPM e 995 RPM, respectivamente.

$$RPM_{max} = \frac{v_{max} \cdot 10^6}{D_{roda} \cdot 60 \cdot \pi} \quad (6.8)$$

$$RPM_{max,inc} = \frac{v_{max,inc} \cdot 10^6}{D_{roda} \cdot 60 \cdot \pi} \quad (6.9)$$

Sabendo os valores de rotação e torque é possível encontrar uma potência necessária na roda para atingir os objetivos predefinidos para o sistema. Calculada pelas equações 6.10 e 6.11, para plano horizontal e inclinado respectivamente. Além disso, sabendo que a transmissão se dará por correia dentada (também conhecidas como de tempo ou sincronizadoras) e que sua eficiência fica entre 97% e 99% quando dimensionada de forma correta, conforme (SHIGLEY; BUDYNAS, 2004). E contando ainda com a eficiência do rolamento estipulado em 97% (presente na faixa de 97% e 98%). Obtém-se um valor aproximado da potência exigida do eixo do motor, 1358 W e 1222 W, plano horizontal e inclinado respectivamente.

$$Pot_{roda} = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{RPM_{max}}{60} \quad (6.10)$$

$$Pot_{roda,inc} = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{RPM_{max,inc}}{60} \quad (6.11)$$

Considerando uma relação de transmissão de 2:1 obtêm-se as rotações e torques do eixo do motor para as duas situações, plano horizontal e inclinado. Rotação e torque do eixo do motor no plano horizontal são 2653 RPM e 6164 N.mm, respectivamente. E rotação e torque do eixo do motor no plano inclinado são, 1989 RPM e 7140,18 N.mm, respectivamente.

Os torques do eixo do motor são a soma dos torques derivados das forças de atrito, peso e aceleração, adicionados ao torque de inércia dos componentes girantes, apresentados na tabela 6.2. E calculados da seguinte forma, conforme (MOTT, 2003).

**Tabela 6.2 – Tabela para cálculo de inércia de carga e torque devido a inércia de componentes acelerados e desacelerados.**

	Roda D. Menor	Roda D. Maior	Correia	Rodas (4x)
Raio Menor ( $m$ )	–	–	0,0606	0,0220
Raio Maior ( $m$ )	–	–	0,0644	0,0800
Raio de giração ( $Nm^2$ )	–	–	0,00390793	0,00344200
Peso ( $N$ )	1,42	7,47	0,26	2,25
Rotação ( $rpm$ )	2653	1326	2653	2653
Aceleração ( $rad/s^2$ )	40	20	40	40
Rotação de ref. ( $rpm$ )	2653	2653	2653	2653
Inércia ( $kg/m^2$ )	1,6856E-05	8,4702E-04	1,0116E-03	3,0983E-02
Inércia equivalente ( $kg/m^2$ )	1,6856E-05	2,1175E-04	1,0116E-03	3,0983E-02
Torque ( $Nm$ )	0,67	4,20	40,14	1229,49

Calcula-se o raio de giro ( $K^2$ ), em que muitos casos a geometria se aproxima de cilindros e discos, e nestes casos, utiliza-se a equação 6.12. Em seguida, multiplica-se o

valor do raio de giro pelo peso do componente ( $w$ ). Obtendo-se desta forma o valor da inércia de carga  $wk^2$ , equação 6.13, em  $kg/m^2$ . O torque é encontrado pela equação 6.15, com a multiplicação da aceleração angular, equação 6.14, pela inércia de carga.

$$K^2 = \frac{1}{2} \cdot (R_1^2 + R_2^2) \quad (6.12)$$

$$w \cdot K^2 = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot L}{2} \cdot (R_1^4 + R_2^4) \quad (6.13)$$

$$\alpha = \frac{N \cdot 2 \cdot \pi}{60 \cdot t_{acel}} \quad (6.14)$$

$$T_{inercia} = w \cdot K^2 \cdot \alpha \quad (6.15)$$

O valor total do torque devido a inércia para acelerar e desacelerar o sistema é a soma dos torques apresentados na tabela 6.2, ou seja, 1274,50  $N.mm$ .

A tabela 6.3 apresenta os valores calculados da rotação, do torque e da potência que serão utilizados como parâmetros nas etapas seguintes para selecionar motor, correia e rodas dentadas. A tabela também apresenta as eficiências utilizadas.

**Tabela 6.3 – Parâmetros calculados para dimensionamento e seleção de componentes.**

Torque no eixo do motor	7140,18 N.mm
Rotação máxima do eixo do motor	2653 RPM
Potência do eixo do motor	1712 W
Eficiência da transmissão por correia dentada	0,98
Eficiência do rolamento	0,97

## 6.2 RODAS DENTADAS E CORREIA

Para a seleção de correias foi utilizado um manual da marca PowerGrip® GT®3 da empresa GATES, em que é possível selecionar a correia, as rodas dentadas, buchas e calcular parâmetros para a montagem adequada da transmissão por correia.

São necessárias cinco etapas para a seleção de um sistema de transmissão PowerGrip®:

1. Calcular a potência de projeto.
2. Selecionar o passo da correia.
3. Selecionar as rodas dentadas e a correia.

4. Selecionar a largura da correia.
5. Determinar os requisitos das buchas e furos.

No primeiro passo calcula-se a potência de projeto através da equação 6.16, em que FS é o fator de serviço dado pela figura 6.1, e RHP é a potência nominal do motor, resultando no DHP (*Design Horsepower*) de 3,44 HP.

$$DHP = FS \cdot RHP \tag{6.16}$$

DriveN Machine  The driveN machines listed below are representative samples only. Select a driveN machine whose load characteristics most closely approximate those of the machine being considered.	DriveR					
	AC Motors: Normal Torque, Squirrel Cage, Synchronous, Split Phase, Inverter Controlled DC Motors: Shunt Wound Stepper Motors Engines: Multiple Cylinder Internal Combustion			AC Motors: High Torque, High Slip, Repulsion-Induction, Single Phase, Series Wound, Slip Ring DC Motors: Series Wound, Compound Wound Servo Motors Engines: Single Cylinder Internal Combustion Line Shafts Clutches		
	Intermittent Service (Up to 8 hours Daily or Seasonal)	Normal Service (8 - 16 hours Daily)	Continuous Service (16 - 24 hours Daily)	Intermittent Service (Up to 8 hours Daily or Seasonal)	Normal Service (8 - 16 hours Daily)	Continuous Service (16 - 24 hours Daily)
Display, Dispensing Equipment Instrumentation Measuring Equipment Medical Equipment Office, Projection Equipment	1.0	1.2	1.4	1.2	1.4	1.6
Appliances, Sweepers, Sewing Machines Screens, Oven Screens, Drum, Conical Woodworking Equipment (Light): Band Saws, Drills, Lathes	1.1	1.3	1.5	1.3	1.5	1.7
Agitators for Liquids Conveyors: Belt, Light Package Drill Press, Lathes, Saws Laundry Machinery Wood Working Equipment (Heavy): Circular Saws, Jointers, Planers	1.2	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0
Agitators for Semi-Liquids Compressor: Centrifugal Conveyor Belt: Ore, Coal, Sand Dough Mixers Line Shafts Machine Tools: Grinder, Shaper, Boring Mill, Milling Machines Paper Machinery (except Pulpers): Presses, Punches, Shears Printing Machinery Pumps: Centrifugal, Gear Screens: Revolving, Vibratory	1.3	1.5	1.7	1.6	1.8	2.0
Brick Machinery (except Pug Mills) Conveyor: Apron, Pan, Bucket, Elevator Extractors, Washers Fans, Centrifugal Blowers Generators & Exciters Hoists Rubber Calender, Mills, Extruders	1.4	1.6	1.8	1.8	2.0	2.2
Centrifuges Screw Conveyors Hammer Mills Paper Pulpers Textile Machinery	1.5	1.7	1.9	1.9	2.1	2.3
Blowers: Positive Displacement, Mine Fans Pulverizers	1.6	1.8	2.0	2.0	2.2	2.4
Compressors: Reciprocating Crushers: Gyratory, Jaw, Roll Mills: Ball, Rod, Pebble, etc. Pumps: Reciprocating Saw Mill Equipment	1.7	1.9	2.1	2.1	2.3	2.5

These service factors are adequate for most belt drive applications. Note that service factors cannot be substituted for good engineering judgment. Service factors may be adjusted based upon an understanding of the severity of actual drive operating conditions.

**Additional Service Factors**

**Speedup Drives**  
For speedup drives, add to the basic service factor the additional factor given below.

Speedup Ratio Range	Additional Factor	Speedup Ratio Range	Additional Factor
1 to 1.24	none	2.50 to 3.49	.30
1.25 to 1.74	.10	3.50 & over	.40
1.75 to 2.49	.20		

Figura 6.1 – Fatores de serviço comuns para correias dentadas. (GATES, 2017)

Com o DHP calculado, através da figura 6.2 é possível encontrar o passo da correia. A intersecção da DHP (3,44 HP) e da rotação do eixo mais rápido (2653 RPM) nos fornece o passo de 5 mm para a correia PowerGrip® GT®3.

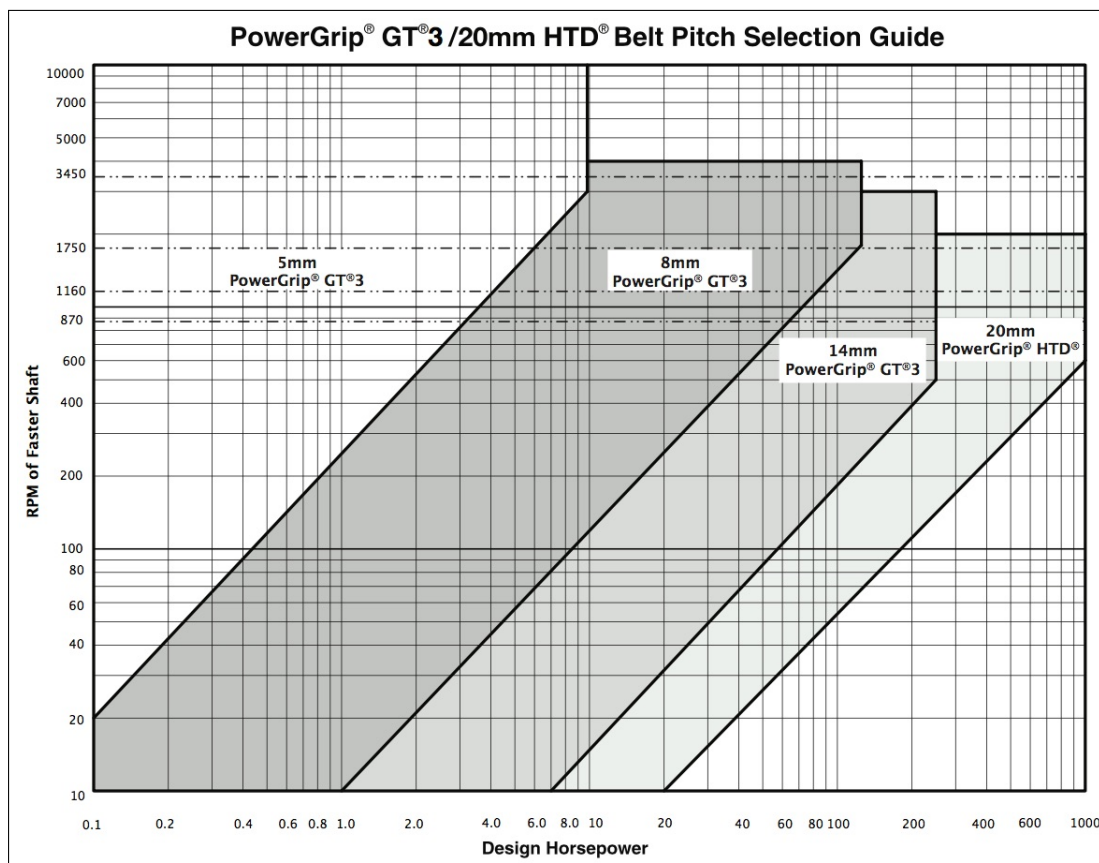


Figura 6.2 – Guia de seleção do passo da correia PowerGrip® GT®3. (GATES, 2017)

Sabendo o passo da correia e tendo uma distância entre centros de rodas dentadas predefinido é possível encontrar o par de rodas dentadas ideal para as condições e parâmetros que foram calculados no começo da seção 6.1. A distância entre centros como valor inicial ficou estabelecido em aproximadamente 100 mm. Observando a figura 6.3 e buscando a linha onde se encontra o valor da relação de transmissão que é de 2 : 1, encontram-se 15 configurações de par de rodas dentadas, comprimento de correia e distâncias entre centros possíveis. Outro fator preponderante é o diâmetro da roda não ser ultrapassado pelo diâmetro de flange da roda dentada maior, valor que se encontra na figura 6.4 como "*Flange Ref.*".

Aproximando o valor da distância tabelado para o valor inicial admitido, temos que a melhor configuração é com a correia de 355 mm, distância entre centros de 3,99 in (101,35 mm), roda dentada menor com 20 dentes e 1,128 in (28,65 mm) de diâmetro de passo, e a maior com 40 dentes, 2,506 in (63,65 mm) de diâmetro de passo e 2,750 in (69,85 mm) de diâmetro de flange.

Tendo o passo, o comprimento, e as rodas dentadas adequadas para a correia, resta apenas a sua largura para que ela esteja definida de acordo com o pedido do fabricante. A escolha da largura ideal tem como requisito principal a potência nominal transmitida pela correia e como requisitos secundários, a rotação da roda dentada mais rápida e o



que a potência tabelada na figura 6.5, deve ser multiplicada pelo fator de correção de largura da correia conforme a figura 6.6.

RPM of Faster Shaft	Base Rated Horsepower for Small Sprocket (Number of Grooves and Pitch Diameter, Inches)																											
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	30	32	34	36	38	40	44	46	48	50	52	56	60	64	68			
10	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.16			
20	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31			
40	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.47	0.51	0.55	0.59			
60	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.46	0.52	0.55	0.58	0.61	0.63	0.69	0.75	0.80	0.86			
100	0.22	0.25	0.27	0.30	0.32	0.34	0.37	0.39	0.42	0.46	0.51	0.56	0.60	0.65	0.69	0.74	0.83	0.88	0.92	0.97	1.01	1.10	1.19	1.28	1.37			
200	0.41	0.45	0.50	0.55	0.59	0.64	0.68	0.73	0.77	0.86	0.95	1.04	1.13	1.21	1.30	1.39	1.56	1.65	1.73	1.82	1.91	2.08	2.24	2.41	2.58			
300	0.58	0.64	0.71	0.78	0.84	0.91	0.97	1.04	1.10	1.23	1.36	1.49	1.62	1.75	1.88	2.00	2.25	2.38	2.51	2.63	2.75	3.00	3.25	3.49	3.73			
400	0.73	0.82	0.91	0.99	1.08	1.17	1.25	1.34	1.42	1.59	1.76	1.93	2.10	2.26	2.43	2.59	2.92	3.09	3.25	3.41	3.57	3.89	4.21	4.53	4.85			
500	0.88	0.99	1.10	1.20	1.31	1.42	1.52	1.63	1.73	1.94	2.15	2.35	2.56	2.76	2.97	3.17	3.57	3.77	3.97	4.17	4.37	4.76	5.15	5.54	5.93			
600	1.03	1.15	1.28	1.41	1.53	1.66	1.78	1.91	2.03	2.28	2.52	2.77	3.01	3.25	3.49	3.73	4.21	4.44	4.68	4.91	5.15	5.61	6.08	6.53	6.99			
800	1.30	1.47	1.63	1.80	1.96	2.12	2.28	2.44	2.61	2.93	3.25	3.57	3.88	4.20	4.51	4.82	5.44	5.75	6.05	6.36	6.66	7.27	7.87	8.47	9.06			
1000	1.56	1.76	1.96	2.17	2.37	2.57	2.77	2.96	3.16	3.56	3.95	4.34	4.72	5.11	5.49	5.87	6.63	7.01	7.39	7.76	8.13	8.87	9.61	10.34	11.07			
1200	1.80	2.05	2.28	2.52	2.76	3.00	3.23	3.46	3.70	4.16	4.63	5.09	5.54	6.00	6.45	6.90	7.80	8.24	8.69	9.13	9.56	10.44	11.31	12.17	13.02			
1400	2.04	2.32	2.59	2.87	3.14	3.41	3.68	3.95	4.22	4.76	5.29	5.82	6.35	6.87	7.39	7.91	8.94	9.45	9.96	10.46	10.97	11.97	12.97	13.95	14.93			
1600	2.27	2.58	2.89	3.20	3.51	3.82	4.13	4.43	4.73	5.34	5.94	6.54	7.13	7.72	8.31	8.89	10.05	10.63	11.20	11.77	12.34	13.47	14.59	15.70	16.81			
1800	2.49	2.84	3.18	3.53	3.87	4.21	4.56	4.89	5.23	5.90	6.58	7.24	7.90	8.56	9.21	9.86	11.15	11.79	12.43	13.06	13.69	14.94	16.19	17.42	18.65			
2000	2.70	3.09	3.46	3.85	4.23	4.60	4.98	5.35	5.72	6.46	7.20	7.93	8.65	9.38	10.09	10.81	12.22	12.93	13.63	14.32	15.01	16.39	17.76	19.11	20.45			
2400	3.11	3.56	4.01	4.46	4.91	5.35	5.79	6.23	6.67	7.54	8.41	9.27	10.13	10.98	11.82	12.66	14.33	15.15	15.98	16.79	17.60	19.22	20.82	22.39	23.96			
2800	3.50	4.02	4.53	5.05	5.57	6.07	6.58	7.08	7.59	8.59	9.59	10.58	11.56	12.54	13.50	14.46	16.37	17.31	18.25	19.19	20.11	21.95	23.77	25.57	27.35			
3200	3.87	4.46	5.03	5.62	6.20	6.77	7.35	7.91	8.48	9.61	10.74	11.85	12.95	14.05	15.13	16.21	18.35	19.41	20.47	21.51	22.55	24.61	26.64	28.64	30.62			
3600	4.22	4.88	5.52	6.17	6.81	7.45	8.09	8.71	9.35	10.60	11.85	13.08	14.30	15.52	16.72	17.92	20.28	21.45	22.62	23.77	24.91	27.18	29.41	31.60	33.77			
4000	4.56	5.28	5.99	6.70	7.41	8.10	8.81	9.50	10.19	11.57	12.94	14.28	15.62	16.96	18.27	19.58	22.16	23.44	24.71	25.96	27.20	29.67	32.09	34.46	36.80			
5000	5.35	6.23	7.09	7.96	8.82	9.67	10.53	11.36	12.21	13.88	15.54	17.17	18.78	20.40	21.98	23.55	26.64	28.16	29.68	31.16	32.63	35.54	38.37	41.13	43.82			
6000	6.07	7.10	8.11	9.13	10.14	11.14	12.14	13.12	14.11	16.05	17.99	19.88	21.76	23.62	25.45	27.26	30.81	32.55	34.27	35.96	37.62	40.88	44.03	47.07				
8000	7.32	8.64	9.93	11.24	12.53	13.79	15.07	16.31	17.56	20.01	22.45	24.82	27.14	29.45	31.69	33.89	38.17											
10000	8.34	9.94	11.49	13.06	14.60	16.11	17.62	19.10	20.58	23.47	26.32	29.07	31.76	34.39	36.93													
12000	9.16	11.00	12.79	14.59	16.36	18.08	19.81	21.48	23.15	26.40	29.57	32.61																
14000	9.77	11.83	13.83	15.83	17.80	19.70	21.60	23.43	25.25	28.76																		

Figura 6.5 – Tabela de seleção da largura da correia de passo 5 mm. (GATES, 2017)

5MGT Belt Length Correction Factor					
Pitch/Length Designation	No. of Teeth	Correction Factor	Pitch/Length Designation	No. of Teeth	Correction Factor
5MR-300	60	0.77	5MR-700	140	1.00
5MR-355	71	0.81	5MR-750	150	1.01
5MR-375	75	0.83	5MR-800	160	1.03
5MR-400	80	0.84	5MR-815	163	1.04
5MR-405	81	0.85	5MR-850	170	1.05
5MR-425	85	0.86	5MR-900	180	1.06
5MR-450	90	0.88	5MR-1000	200	1.09
5MR-500	100	0.90	5MR-1150	230	1.13
5MR-535	107	0.92	5MR-1300	260	1.16
5MR-565	113	0.94	5MR-1450	290	1.19
5MR-575	115	0.94	5MR-1600	320	1.22
5MR-580	116	0.95	5MR-1720	344	1.24
5MR-600	120	0.95	5MR-1755	351	1.25
5MR-625	125	0.97	5MR-2100	420	1.29
5MR-650	130	0.98			

Figura 6.6 – Tabela de fator de correção da largura da correia de passo 5 mm. (GATES, 2017)

Com todas as variáveis definidas, falta apenas selecionar as buchas que acoplam os eixos e as rodas dentadas. O eixo do motor é de 0,315 in (8 mm). A bucha para a roda dentada motora varia de furo de 0,250 in (6,35 mm) até 0,500 in (12,7 mm), como mostra a figura 6.4. A roda dentada maior não será acoplada a um eixo, mas diretamente a roda do sistema, portanto não é relevante o intervalo de tamanhos de furos especificado.

Para facilitar a identificação dos componentes selecionados, a tabela 6.4 lista todos os componentes com suas especificações de acordo com o fabricante GATES.

Tabela 6.4 – Componentes do sistema de transmissão por correia dentada.

Correia	1-355-5MGT-25 PowerGrip® GT®3
Roda dentada motora	1-P20-5MGT-25
Bucha roda dentada motora	MPB com furo de 0,315 in (8 mm)
Roda dentada movida	1-P40-5MGT-25
Bucha roda dentada movida	1610 com furo de 1,688 in (42,88 mm)

### 6.3 MOTOR

A escolha do tipo de motor elétrico a se utilizar neste projeto teve que se resumir em motores pequenos, com dimensões e peso reduzidos, pois dessa forma garante que o sistema seja leve e que o produto final atinja requisitos como peso máximo, tabela 6.1. Os motores que mais se tornam viável para a aplicação deste trabalho são os motores sem escova, mais conhecidos como *brushless motor* ou BLDC motor (*brushless direct current motor*). São muito utilizados em RC (*radio control*), como em, aerodelismo, carros de controle remoto, barcos de controle remoto, etc. Esses motores são basicamente nomeados pela capacidade de revolução por volt fornecido a eles. A sigla utilizada é o kv. Para exemplo, se um motor *brushless* for especificado como 1000 kv, isso quer dizer que a cada volt fornecido da bateria para o motor, este terá uma rotação de 1000 RPM adicionada. Devido a utilização desse motor em outras aplicações que não só necessitam de altas rotações, mas também de torques consideráveis, surgiram motores *brushless* com menos kv, porém com mais potência. Ou seja, continuam tendo rotações consideráveis, mas fornecendo mais torque, e conseqüentemente, mais potência.

Como a potência exigida pelo eixo do motor é de 1712 W. Foi selecionado um motor *brushless* de 2400 W de potência nominal, modelo *NTM Prop Drive Series 50-60 270kv* do fabricante *H-King*, representado pela figura 6.7. Com eficiência de 85% a qual foi considerada devido ao fato de que os motores BLDC possuem eficiência típicas entre 85% e 90%. O menor valor escolhido se justifica por não serem encontrados fabricantes que forneçam dados suficientes para garantir um valor calculado. Devido a aplicações comerciais já existentes deste tipo de motor em *skates*, continua sendo a melhor opção de escolha. E ainda, a diferença entre a potência real fornecida pelo motor e a potência de projeto fica em 328 W, suficiente para garantir a condições de trabalho especificadas na tabela 6.1. As especificação do motor se encontram na tabela 6.5.

**Tabela 6.5 – Especificações do motor  
*NTM Prop Drive Series  
50-60 270kv.***

kv	270rpm/v
Corrente máxima	90A
Potência máxima	2400W @ 29.6v (8S)
Eixo	8 mm
Massa	454g
ESC	100A
Bateria	6S-8S Lipoly

Essa dificuldade em encontrar motores com especificações mais detalhadas demonstra a dificuldade de aplicação desses motores em projetos como a de motorização de um *skate*. Porém não inviabiliza a sua utilização, uma vez que é possível adquirir tais motores para teste de torque, rotação, potência, temperatura de operação, nível de ruído



Figura 6.7 – Ilustração do motor *brushless* *NTM Prop Drive Series 50-60 270kv 2400 W.* (H-KING, 2017)

e etc. Devido ao período de desenvolvimento deste trabalho, não foi possível realizar esses testes, nem sequer adquirir uma série de motores para experimento, pois não é o foco principal do trabalho.

#### 6.4 CONTROLE ELETRÔNICO

Para o controle da velocidade de rotação do motor selecionado, o fabricante sugere um ESC (*electronic speed control*) de 100A (cem amperes) e para baterias 6S-8S (22,2V-29,6V). Ainda sugere que tenha embutido um BEC (*battery eliminator circuit*), para fornecer energia sem a necessidade de se utilizar a da bateria. E também tenha um ponto de corte de baixa tensão definido para proteger que a bateria seja danificada.

Com essas informações o ESC escolhido foi o modelo *Super Brain 100A Brushless ESC*, do fabricante *Turnigy*. A imagem ilustrativa é representada pela figura 6.8 e as especificações pela tabela 6.6.

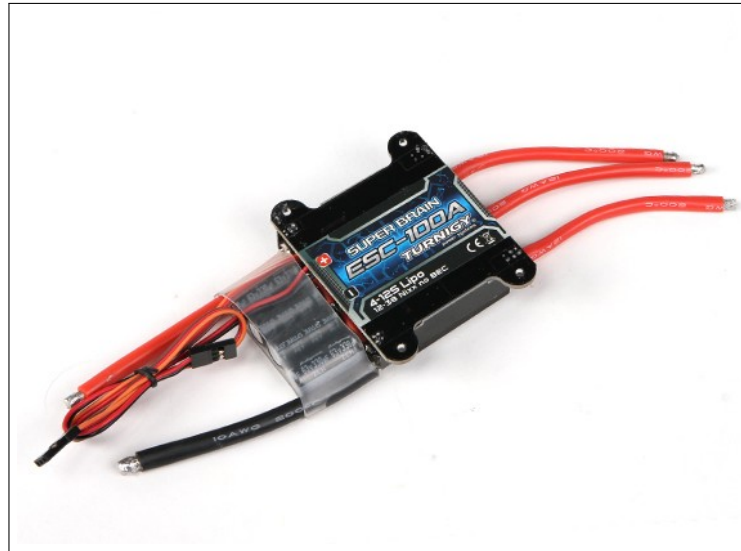


Figura 6.8 – Ilustração do *ESC Turnigy Super Brain 100A*. (TURNIGY, 2017)

Tabela 6.6 – Especificações do *ESC Turnigy Super Brain 100A* para motores *brushless*.

Corrente constante	100A
Corrente de ruptura	120A
Bateria	4-12S Lipoly
Dimensões	69 x 52 x 24mm
Massa	109g

## 6.5 BATERIA

A escolha da melhor bateria para alimentar o motor foi baseada numa autonomia entre 15 e 20 km, considerando que todo tempo de uso foi a velocidade máxima (20 km/h) e com peso máximo do usuário (100 kg). Para início dos cálculos, a autonomia foi estipulada em 16 km. Requisitando esse valor pôde-se calcular o tempo de duração da bateria em minutos, através da equação 6.17, em que, autonomia e diâmetro da roda são dados em metros.

$$t_{bateria} = \frac{autonomia}{rpm_{roda} \cdot \pi \cdot diam_{roda}} \quad (6.17)$$

O resultado da equação para os valores estipulados é de uma duração da bateria de 48 minutos. Entretanto, para saber se realmente a bateria tem as condições necessárias para operar nesse período de tempo e fornecer a autonomia inicial adotada, é preciso encontrar baterias disponíveis no mercado para avaliar sua potência, dada em watts-horas de acordo com sua capacidade, em mAh, e sua tensão, em volts, conforme diz (TIPLER, 2006). Como o motor já traz um requisito de diferença de potencial entre 6S (22,2V) e

8S (29,6V), só é preciso identificar baterias, cuja capacidade seja a mais elevada possível. Com essa informação foi encontrado uma bateria de 10.000 mAh. Calculando pela lei de ohm, equação 6.18, temos que a bateria seria suficiente para fornecer 222 Wh de potência. E dividindo essa potência pela potência do eixo do motor calculada no capítulo 6.1, de 1712 W. Temos que a duração da bateria seria de 0,130 h ou 7,78 min. E que através da equação 6.17, mas isolando a autonomia, temos que esta última seria de 2593 m. Tais resultados muito distantes do desejado levaram a necessidade de uma associação de 4 baterias em paralelo (número limitado pelo peso e preço) do mesmo modelo e fabricante a fim de quadruplicar sua capacidade, indo de 10.000 mAh para 40.000 mAh. Refazendo os cálculos, a duração da bateria foi para 0,519 h ou 31,12 min e autonomia para 10.373 m.

$$V = R \cdot I \quad (6.18)$$

Essa bateria, modelo *Turnigy Graphene Professional*, foi a melhor bateria comercial encontrada, porém não atendia a todas especificações desejadas, a se destacar a autonomia. Devido a este fato, foi considerado também a possibilidade de se montar um conjunto de baterias menores, um *pack*. O modelo de bateria escolhido foi o 18650, que se refere às dimensões de 18 mm de diâmetro e 65mm de comprimento. Existem várias capacidades para esse modelo de bateria, entretanto todos são por padrão são 1S (3,6V). Como o motor exige baterias mínimas de 6S, fica exigido que o conjunto de baterias deve ter 6 em série.

A bateria 18650 escolhida foi a da marca *JWS*, modelo *Gold*. Com capacidade de 8800 mAh. Devido ao fato de que essa não era uma marca consagrada do mercado, foi adotado uma eficiência de 80%, fornecendo assim, 7040 mAh. Também foi considerado devido as dimensões, 10 baterias em paralelo. E com as 6 em série obrigatórias, temos um total de 60 baterias. Multiplicando o número de baterias pela capacidade temos uma capacidade total de 70400 mAh e potência de 1520,64Wh. Fazendo o mesmo processo da bateria anterior, dividindo a potência da bateria pela do eixo do motor, obtém-se uma duração da bateria de 0,888h ou 53,29min e autonomia de 17.762m.

Para melhor visualização, a figura 6.9 traz as informações relevantes de ambas as baterias, assim como uma ilustração de cada uma.

Bateria	Turnigy Graphene Pro		18650 JWS Gold	
Tipo	Lipoly		Lion	
Dimensão	170x77x59 mm		18x67 mm	
Peso	4 un	5480 g	60 un	2874 g
Preço	R\$1.177,32		R\$720,00	
Voltagem	6S	22,20 V	6S	22 V
Capacidade	40000 mAh	40 Ah	10 un	70400 mAh
Potência	888,00 Wh		1520,64 Wh	
<b>Duração da bateria</b>	0,519 h	31,12 min	0,888 h	53,29 min
<b>Autonomia</b>	10373 m	6,4 miles	17762 m	11 miles


  


Figura 6.9 – Informações de 2 opções de baterias para o sistema (TURNIGY, 2017) (JWS, 2017)

Devido ao atendimento de todos os requisitos, a bateria escolhida para compor o projeto mecânico com a finalidade de alimentar o motor, é a bateria *18650 JWS Gold*. A qual será associada em 6 séries de 10 baterias em paralelo, em um total de 60 baterias.

## 7 MONTAGEM

Neste capítulo são apresentados os procedimentos de montagem. Para uma clara compreensão dos itens que serão citados é preciso verificar os apêndices B e C. O apêndice B traz os desenhos de montagem dos subsistemas formadores do *skate longboard*, já o apêndice C traz os desenhos de usinagem das peças que sofreram alguma alteração em relação ao estado de fornecimento. Os itens comerciais não foram detalhados tecnicamente.

### 7.1 PREPARAÇÃO DAS PEÇAS

Primeira etapa em qualquer processo de montagem, é necessária a preparação das peças para sua devida montagem. Os seguintes procedimentos são necessários:

- *Truck* 250mm adaptado:
  - Desenho: C-0001;
  - Estado de fornecimento: *Truck* 250mm;
  - Alterações: Retirada do reforço para garantir a montagem da peça Fixação motor – desenho C-0004;
  - Fabricação: Criação de gabarito para corte com disco de corte, garantindo as medidas referidas no desenho;
- Espaçador Roda:
  - Desenho: C-0002
  - Estado de Fornecimento: TUBO REDONDO 7/8” x 2,65mm x 3000 SAE 1020
  - Alterações: Corte em máquina de corte-serra no comprimento de 12mm;
  - Fabricação: Usinagem da parede externa para garantir um diâmetro de 22mm;
  - Tratamento: Peça deve ser galvanizada em galvanização branca;
- Haste Fixação *Truck*:
  - Desenho: C-0003
  - Estado de fornecimento: CHAPA DE AÇO CARBONO 1/4” x 1200 x 3000 SAE 1020
  - Alteração: Peça deve ser cortada em máquina de corte laser, garantindo o perfil necessário, com as devidas furações;
  - Fabricação: Deve ser passado macho M4 nas furações na parte frontal da peça. Peça deve ser fixada em um gabarito, onde deve se furar a lateral da peça em dois

furos de entre centros de 22mm com uma broca de 3.2mm de diâmetro com posterior passagem de um macho M4.

Tratamento: Peça deve ser galvanizada em galvanização branca;

- Fixação Motor:

Desenho: C-0004

Estado de fornecimento: CHAPA DE AÇO CARBONO 1/4" x 1200 x 3000 SAE 1020

Alteração: Peça deve ser cortada em máquina de corte laser, garantindo o perfil necessário, com as devidas furações;

Fabricação: Peça deve ser fixada em um gabarito, no qual permita furação especificada no detalhe A. Deve ser perfurar a peça com broca de 4,2mm de diâmetro até ultrapassar a primeira parede. Após isso, deve se furar a peça com uma broca de 3,2mm de diâmetro por 10mm, mantendo o mesmo centro, com posterior passagem de macho M4 para formação da rosca. Outra operação necessária é a introdução de uma broca de Ø9mm nos furos de 4,2mm de diâmetro na região central da peça para formar o perfil necessário para a cabeça de um parafuso de cabeça chata poder ser acoplado.

Tratamento: Peça deve ser galvanizada em galvanização branca;

- Prolongador eixo motor:

Desenho: C-0005

Estado de fornecimento: PERFIL REDONDO TREFILADO 14mm x 6000 SAE 1020

Alteração: Corte em máquina corte-serra no comprimento determinado;

Fabricação: Usinagem conforme o desenho técnico para garantia da montagem no eixo do motor;

Tratamento: Galvanização ou Cromatização;

- Roda dentada maior P40-5GMT-25-MPB:

Desenho: C-0006

Estado de fornecimento: Roda dentada P40-5GMT-25-MPB fornecida pela empresa Gates;

Alteração: Inclusão de furação para fixação da roda motriz e expansão do furo central;

Fabricação: Usinagem que permita formação das furações de centro e de fixação das barras roscadas. Após etapa de usinagem, em uma furadeira de bancada passar macho M5 para formação de rosca nos 10 furos da face especificada;

- Flange Fixação Roda:
  - Desenho: C-0007
  - Estado de fornecimento: CHAPA DE AÇO CARBONO 2mm x 1200 x 3000 SAE 1020
  - Alteração: Peça deve ser cortada em máquina corte laser já no perfil especificado com as devidas furações.
  - Tratamento: Galvanização ou Cromatização;
- Roda dentada menor P20-5GMT-25-MPB:
  - Desenho: C-0008
  - Estado de fornecimento: Roda dentada P20-5GMT-25-MPB fornecida pela empresa Gates;
  - Alteração: Expansão do furo central para acoplamento no prolongador de eixo do motor;
  - Fabricação: Usinagem em centro de usinagem CNC para as medidas especificadas no desenho;

## 7.2 PROCEDIMENTOS DE MONTAGEM

Nesta seção são abordadas os procedimentos de montagem dos subsistemas que irão formar a montagem final do *skate longboard*. Sendo este procedimento:

- Montagem Roda 80mm:
  - Desenho: B-0004
  - Ações: Devem-se montar os rolamentos ABEC 11 - modelo 608 com a inserção do espaçador nas rodas de 80mm;
  - Fabricação: Recomenda-se o uso de uma prensa para montagem dos rolamentos;
  - Quantidade do conjunto: 04
- Montagem Roda motriz:
  - Desenho: B-0006
  - Ações: Deve-se rosquear 5 barras roscadas M5 x 60mm em 5 furos intercalados na roda dentada maior P40-5MGT-25. Após essa etapa deve ser passada um conjunto da roda de 80mm até encostar na face da roda dentada maior. Deve ser acoplada a flange para que as porcas sextavadas autotravantes M5 possam ser montadas nas barras roscadas, unindo o conjunto da roda de 80mm a roda dentada maior.
  - Quantidade do conjunto: 01

- Montagem Fixação Motor:

Desenho: B-0005

Ações: Fixar o motor na peça de fixação com 4 parafuso sextavados M4x16. Após a fixação do motor, fazer a montagem do prolongador do eixo no eixo do motor.

Fabricação: Recomenda-se a montagem do prolongador no eixo com marreta de borracha.

Quantidade do conjunto: 01

As montagens supracitadas são dos subsistemas, elas irão incorporar as montagens que irão formar o *skate longboard*:

- Montagem *Truck* Dianteiro:

Desenho: B-0002

Ações: Utilizando o *truck* original montar os conjuntos da roda de 80mm no eixo do *truck* até encostar no anteparo. Após isso fixar a porca sextavada autotravante M8 no eixo do *truck*, dando fixação a todo o sistema;

Quantidade do conjunto: 01

- Montagem *Truck* Traseiro:

Desenho: B-0003

Ações: Fixar no *truck* adaptado a haste de fixação com parafuso sextavado interno M6x30 cabeça cilíndrica e contra porca, sendo uma porca sextavada autotravante M6. Feito isto, fixar o conjunto de fixação do motor no diâmetro do *truck* e parafusando o conjunto na haste de fixação com 2 parafusos M4x10 cabeça chata, a outra fixação se dá na mordedura da peça no diâmetro do *truck* com o aperto causado por um parafuso sextavado M4x16. Com este subconjunto montado, é possível acoplar a roda dentada menor, fixando-a no diâmetro por interferência, e usando um parafuso sextavado interno sem cabeça M4x4 para garantir a fixação. Deste modo pode ser montada a correia 355-5GMT-25 POWERGRIP GT3 na roda dentada menor, trazendo o conjunto da roda motriz para finalizar a montagem da correia. Para finalizar a montagem da roda motriz é necessário parafusar uma porca sextavada autotravante M8 no eixo do *truck*. Por fim, com a montagem da roda de 80mm no outro eixo do *truck* e a fixação de outra porca sextavada autotravante M8 o conjunto estará montado.

Quantidade do conjunto: 01

- Montagem Geral:

Desenho: B-0001

Ações: Montar *truck* dianteiro e traseiro nas furações do *shape*. Fixar os *truck* com 4 parafusos (cada *truck*) phillips M4x30 cabeça chata, usando 4 contra porcas sendo 4 porcas sextavadas autotravantes M5.

## 8 LISTA DE COMPONENTES

- *Shape*: 01 unidade  
Modelo: *Shape Longboard Donwhill*
- *Truck*: 01 par  
*Truck* 250mm – vendido em pares  
Um dos *trucks* será adaptado para fixação
- Roda 80mm: 04 unidades
- Rolamento: 08 unidades  
Modelo: ABEC 11 MODELO 608
- Haste de Fixação do Motor: 01 unidade  
Matéria-prima: Chapa de aco carbono ¼” x 1200 x 3000 SAE 1020
- Fixação do motor: 01 unidade  
Matéria-prima: Chapa de aco carbono ¼” x 1200 x 3000 SAE 1020
- Prolongador do eixo do motor: 01 unidade  
Matéria-prima: Perfil Redondo Trefilado 14mmx6000 SAE 1020
- Motor: 01 unidade  
Modelo: NTM Prop Drive Series 50-60 270kv
- Controlador: 01 unidade  
Modelo: Super Brain 100<sup>a</sup>
- Bateria: Pack 60 unidades  
Modelo: 18650 JWS GOLD
- Correia: 01 unidade  
355-5MGT-25 PowerGrip® GT®3
- Roda dentada motriz: 01 unidade  
P20-5MGT-25
- Roda dentada movida: 01 unidade  
P40-5MGT-25

- Flange de fixação da roda motriz: 01 unidade  
Matéria-prima: Chapa de Aço Carbono 2mm x 1200 x 3000 SAE 1020
- Barra roscada M5X60 – 05 unidades  
Matéria-prima: Barra roscada M5X1000
- Espaçador da roda: 01 unidade  
Matéria-prima: Tubo redondo 7/8” x 2,65mm x 3000 SAE 1020
- Parafuso de fixação do motor: 04 unidades  
Modelo: Parafuso sextavado M4x16 zincado branco
- Parafuso de fixação da haste no *truck*: 01 unidade  
Modelo: Parafuso sextavado interno M6x30 cabeça cilíndrica zincado branco
- Parafuso de fixação da peça de fixação do motor na haste: 02 unidades  
Modelo: Parafuso *phillips* M4x10 cabeça chata zincado branco
- Porca de fixação da roda dentada movida na flange de fixação: 05 unidades  
Modelo: Porca sextavada autotravante M5 zincado branco
- Parafuso de fixação da peça de fixação do motor no *truck* adaptado: 01 unidade  
Modelo: Parafuso sextavado M4x12 zincado branco
- Parafuso de fixação da roda dentada motriz: 01 unidade  
Modelo: Parafuso sextavado interno M4x4 sem cabeça zincado branco
- Parafuso de fixação do *truck* no *shape*: 08 unidades  
Modelo: Parafuso *phillips* M5x30 cabeça chata oxidado preto
- Porca de fixação do parafuso de fixação do *truck* no *shape*: 08 unidades  
Modelo: Porca sextavada autotravante M5 oxidado preto

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado no capítulo 1 na seção 1.4, os objetivos (1) Selecionar e adaptar uma metodologia; (2) Analisar, através de um *benchmarking*, as concepções existentes no mercado; (3) Selecionar dentre as concepções analisadas o melhor arranjo de componentes e soluções, listando os requisitos necessários, com seus respectivos dados de entrada. (4) Dimensionar o motor e a bateria, bem como o sistema de transmissão; (5) Projetar em CAD o que foi dimensionado para análises de viabilidade, definindo etapas e procedimentos de montagem; (6) Listar os componentes, gerando um orçamento estimado do projeto; (7) Definir os novos estudos relativos ao projeto; são discutidos nesse capítulo.

Quanto ao objetivo (1) a metodologia se mostrou válida, entretanto, as concepções analisadas continham poucas informações para que houvesse uma retroalimentação das etapas anteriores.

Já sobre o objetivo de número 2, o mercado trouxe uma ideia geral sobre as concepções usadas, entretanto a falta de informações principalmente sobre o sistema de transmissão trouxe certa subjetividade a qual sistema deveria ser escolhido para dimensionar. Logo, o objetivo (3) se mostrou um exercício simples no aspecto da escolha, entretanto complexo no que tange o desdobramento do dimensionamento, uma vez que as dimensões não eram ditas.

Quanto ao dimensionamento, objetivo (4), os catálogos se mostraram efetivos em designar as etapas de trabalho, e uma vez selecionado os dados de entrada, o procedimento seguido de forma fiel, tornou possível o dimensionamento conforme os catálogos.

Quanto ao processo de montagem, se mostrou uma dificuldade a adaptação dos *trucks*, entretanto possível. Percebe-se que o processo de alteração no *truck* se definido em parceria com o fornecedor, tende a ser simples e, portanto, de fácil aplicação. Quanto ao orçamento, não foi colocado no texto devido as extremas dificuldades de cotação dos motores, que são provenientes da China, e pelas subjetividade de se definir critérios de custo para fabricação das peças, tornando qualquer estimativa demasiadamente grosseira.

Para concluir este trabalho acadêmico sobre o dimensionamento de um projeto mecânico para a automatização de um *skate*, sugere-se alguns estudos posteriores para aperfeiçoamento e maior confiabilidade em alguns dados considerados. A primeira sugestão é uma análise nos motores *brushless* utilizados, pois suas aplicações ainda são muito específicas, e devido a isso, a gama de opções disponíveis no mercado é pequena. Considerar um estudo em que submeta diversos modelos de diferentes fabricantes a testes práticos de corrente, tensão, potência, consumo, torque e rotação. Desta forma a seleção

se torna mais precisa e os superdimensionamentos minimizados.

A segunda sugestão é a do estudo na parte eletrônica, pois este trabalho tratou de forma simplificada, a fim de estimar superficialmente os componentes de controle e alimentação para tornar o entendimento mais coeso. E a terceira sugestão é considerar outro sistema motriz, com a utilização dos *hub motors*, que são motores *brushless* acoplados internamente nas rodas. São sistemas recentes, considerando a data de postagem deste trabalho, que estão em ascensão nos produtos comercializados em outros países.

Por fim, São previstas algumas sequências do trabalho no campo da prototipagem do sistema dimensionado, bem como a extensão de estudos de simulação.

## REFERÊNCIAS

- AKATU. **Desinteresse dos jovens por carros preocupa montadora**. 2013. Disponível em: <<http://www.akatu.org.br/Temas/Mobilidade/Posts/Desinteresse-dos-jovens-por-carros-preocupa-montadora>>.
- ARAÚJO, M. R. M. de et al. Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. **Psicologia e Sociedade**, v. 23, n. 2, p. 574–582, 2011.
- BIANCHI, K. E. **Desenvolvimento de um sistema de transmissão mecânica baseado em engrenagens cônicas e faciais**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- BOMFIM, A. G. **Metodologia para o desenvolvimento de projetos**. [S.l.: s.n.], 1995.
- CHOZICK, A. As young lose interest in cars, g.m. turns to mtv for help. **The New York Times**, 2012. Disponível em: <[http://www.nytimes.com/2012/03/23/business/media/to-draw-reluctant-young-buyers-gm-turns-to-mtv.html?pagewanted=1&\\_r=1#](http://www.nytimes.com/2012/03/23/business/media/to-draw-reluctant-young-buyers-gm-turns-to-mtv.html?pagewanted=1&_r=1#)>. Acessado em: 29 nov. 2016.
- COSTA, M. da S. **Um índice de mobilidade urbana sustentável**. 2008. 248 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- GATES. **Powergrip gt3 drive design manual**. 2017. Disponível em: <[https://www.gates.com/~media/files/gates/industrial/power-transmission/manuals/powergripdrivedesignmanual\\_17195\\_2014.pdf?la=en](https://www.gates.com/~media/files/gates/industrial/power-transmission/manuals/powergripdrivedesignmanual_17195_2014.pdf?la=en)>.
- H-KING. **NTM Prop Drive Series 50-60 270kv**. 2017. Disponível em: <[https://hobbyking.com/en\\_us/ntm-prop-drive-50-60-270kv-2400w.html](https://hobbyking.com/en_us/ntm-prop-drive-50-60-270kv-2400w.html)>.
- JWS. **18650 JWS Gold**. 2017. Disponível em: <<http://www.jwslanternas.com.br>>.
- Ministério das Cidades. **Política Nacional de Mobilidade Urbana - Cartilha da Lei nº 12.587/12**. 2013. Disponível em: <[http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/cartilha\\_lei\\_12587.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/cartilha_lei_12587.pdf)>.
- MOTT, R. L. **Machine Elements in Mechanical Design**. 4. ed. [S.l.]: Pearson, 2003.
- PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: Fundamento do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6. ed. [S.l.]: Edgar Blücher, 2005.
- PUGH, S. **Total design - Integrated methods for successful product engineering**. [S.l.]: Addison Wesley Longman, 1991.
- PUGH, S. **Creating innovative products using total design**. [S.l.]: Addison Wesley Longman, 2002.
- SEABRA, P. W. G. T. L. O.; DOMINGUEZ, E. M. Sustentabilidade em transportes: do conceito às políticas públicas de mobilidade urbana. **Revista dos Transportes Públicos**, v. 35, p. 103–124, 2013.

SHIGLEY, C. R. M. J. E.; BUDYNAS, R. G. **Mechanical Engineering Design**. 7. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2004.

SILVEIRA, F. L. da. Inclinação das ruas e das estradas. **Física na Escola**, v. 8, n. 2, p. 16–18, 2007. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num2/v08n02a04.pdf>>.

The European Research Forum for Urban Mobility (EURFORUM). **Draft paper State of the Art of Research and Development in the Field of Urban Mobility**. 2007. Disponível em: <[http://www.emta.com/IMG/pdf/SoA\\_FinalDraft\\_160207\\_FINAL.pdf](http://www.emta.com/IMG/pdf/SoA_FinalDraft_160207_FINAL.pdf)>.

TIPLER, P. A. **Física para cientistas e engenheiros**. 5. ed. [S.l.]: LTC, 2006. v. 2.

TURNIGY. **Turnigy Super Brain 100A Brushless ESC**. 2017. Disponível em: <<http://www.turnigy.com/esc/super-brain/>>.

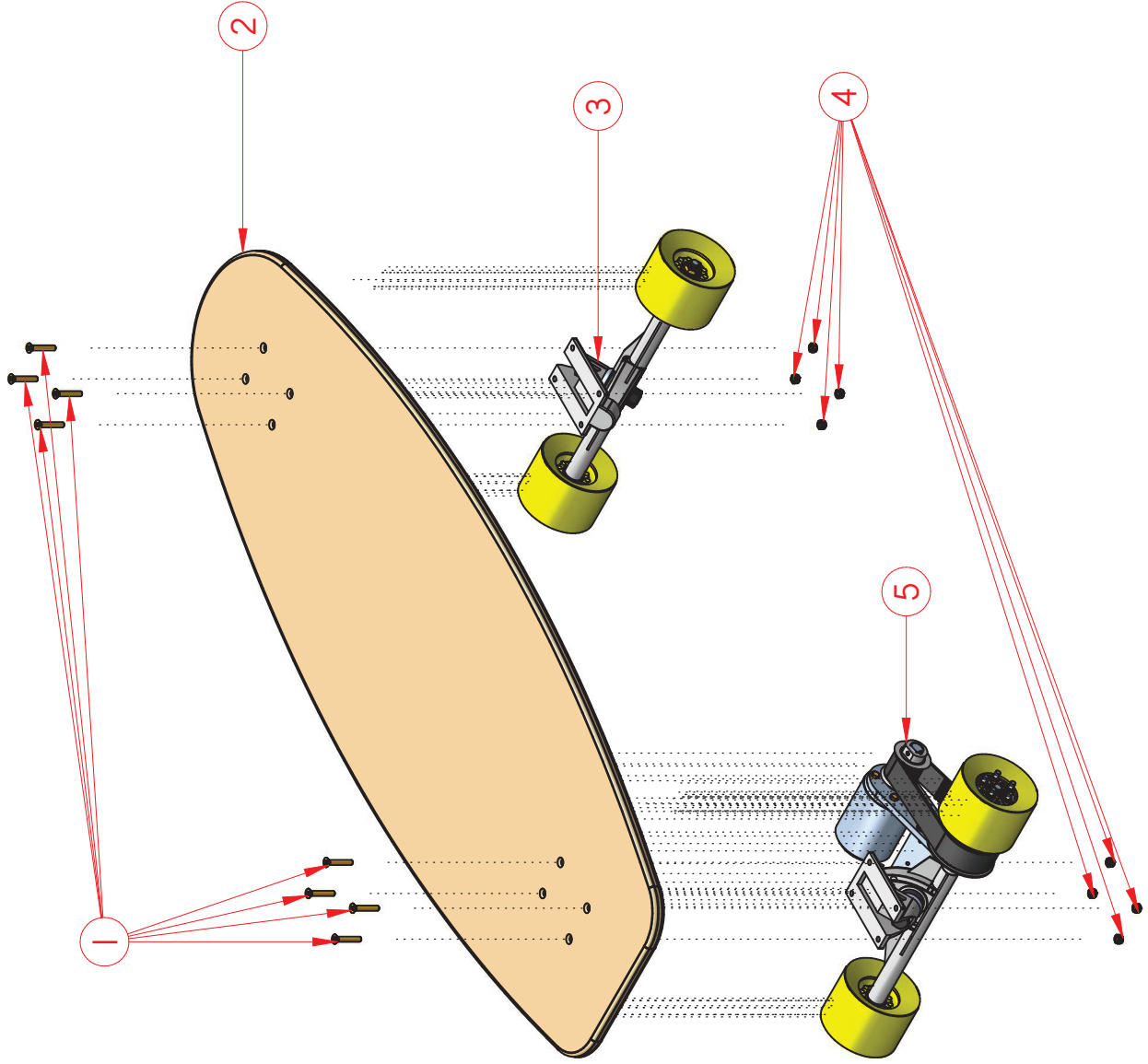
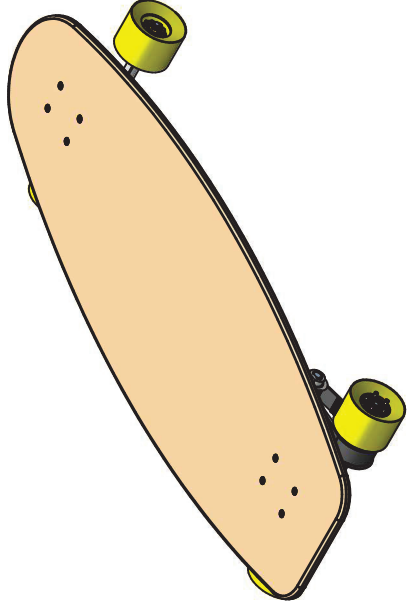
YEDAMALE, P. Brushless dc (blde) motor fundamentals. 2003. Disponível em: <[http://electrathonoftampabay.org/www/Documents/Motors/Brushless%20DC%20\(BLDC\)%20Motor%20Fundamentals.pdf](http://electrathonoftampabay.org/www/Documents/Motors/Brushless%20DC%20(BLDC)%20Motor%20Fundamentals.pdf)>.

## **APÊNDICE A - *BENCHMARKING***

AVALIAÇÃO DIGITAL TRENDS - DISPONÍVEL EM <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/best-electric-skateboards/> - acesso as 10/06/17

MARCA	MODELO	TIPO	POTÊNCIA [W]	VELOCIDADE FINAL [km/h]	VELOCIDADE FINAL [mph]	INCLINAÇÃO [%]	AUTONOMIA [Km]	AUTONOMIA [milhas]	PESO SKATE [Kg]	PESO USUARIO [Kg]	DIMENSÃO [cm]	DIAMETRO DAS RODAS [mm]	DUREZA DAS RODAS	SISTEMA MOTRIZ	FONTE	ACESSO
INBOARD	M1	LONGBOARD	1600	35,4	22	15	16	7 A 10	6,57	113,3	94 x 26 x 13	79	78a	ROTOR EXTERNO BRUSHLESS	<a href="https://www.inboardtechnology.com/products/m1-electric-skateboard">https://www.inboardtechnology.com/products/m1-electric-skateboard</a>	11/04/17 AS 15h30
ZBOARD	2 BLUE	LONGBOARD	1000	32	20		25	16	7,7		96,5cm X 24,1cm X 13,9cm (largura do truck 280mm)	90	80a	MOTOR BRUSHLESS DC 500W	<a href="https://www.zboardshop.com/products/zboard-2-blue">https://www.zboardshop.com/products/zboard-2-blue</a>	11/04/17 AS 16h
ZBOARD	2 PEARL	LONGBOARD	1000	32	20		38	24	8,6		96,5cm X 24,1cm X 13,9cm (largura do truck 280mm)	97	83a	MOTOR BRUSHLESS DC 500W	<a href="https://www.zboardshop.com/products/zboard-2-pearl">https://www.zboardshop.com/products/zboard-2-pearl</a>	11/04/17 AS 17:15h
LEAFBOARD		SKATEBOARD	1800	30,4	19	28	18,5	11,5	4,4		63,5 x 24,1 x 12,9 x 1,78	72		MOTOR BRUSHLESS DC 1800W	<a href="https://www.kickstarter.com/projects/leafboard/the-lightest-and-most-affordable-electric-skateboa/description">https://www.kickstarter.com/projects/leafboard/the-lightest-and-most-affordable-electric-skateboa/description</a>	12/04/17 AS 09h42
FIK SKATEBOARD	BIG DADDY	LONGBOARD OFF ROAD	800	35,4	22		24	10 A 15		136	116,84 x 27,94 x 25,4	264,92		MOTOR BRUSHLESS DC 800W	<a href="https://fiikelectricskateboards.com/component/virtuemart/boards/big-daddy-detail?Itemid=0">https://fiikelectricskateboards.com/component/virtuemart/boards/big-daddy-detail?Itemid=0</a>	12/04/17 AS 10h20
STARY	STARYBOARD	LONGBOARD	1500	30	18,6		16	7 A 10	8,6	136	100.3 x 31.3 x 15.2 cm	80		ROTOR EXTERNO BRUSHLESS	<a href="http://stary.io/product/stary-board/">http://stary.io/product/stary-board/</a>	12/04/17 AS 11h05
YUNEEC	E-GO 2	LONGBOARD	400	20	12,5	10	29	18	6,3	99,8		90		MOTOR BRUSHLESS DC 400W	<a href="http://us.yuneeec.com/ego-2-overview">http://us.yuneeec.com/ego-2-overview</a>	12/04/17 AS 14h20
MELLOW	MELLOW DRIVE	POWER TRAIN ADAPTAVEL	2000	40		20	15		3,9		36,6 X 17,4 X 5,9	80	80a	ROTOR EXTERNO BRUSHLESS 3Nm	<a href="https://www.mellowboards.com/en/Shop/Mellow-Drive.html">https://www.mellowboards.com/en/Shop/Mellow-Drive.html</a>	12/04/17 AS 15h12
ONEWHEEL	ULTRACHARGER		500	20	12		9	4 a 6	11		76 X 23 X 29			MOTOR HUB 500W	<a href="https://www.kickstarter.com/projects/4422853/one-wheel-the-self-balancing-electric-skateboard">https://www.kickstarter.com/projects/4422853/one-wheel-the-self-balancing-electric-skateboard</a>	12/04/17 AS 16h02
MARBEL	MARBEL 2.0	LONGBOARD	2000	41,8	26	25	25,7	16	4,6	113,4	96,5 X 25,4	76 A 100		MOTOR BRUSHLESS DC 2000W	<a href="https://store.marbelboards.com/product/marbel-2-0/">https://store.marbelboards.com/product/marbel-2-0/</a>	13/04/17 AS 08h42
ACTON	BLINK LITE	CRUISER	450	16	10	8	8	5	4,6	81	76,2 X 25,4 X 15,24	70		MOTOR HUB 450W	<a href="https://www.actonglobal.com/product/blink-lite/">https://www.actonglobal.com/product/blink-lite/</a>	13/04/17 AS 09h12
ACTON	BLINK S	COMPACT SKATEBOARD	600	24,14	15	15	11,26	7	4,6	104	70,35 x 20,32	83		MOTOR HUB 600W	<a href="https://www.actonglobal.com/product/blink-s/">https://www.actonglobal.com/product/blink-s/</a>	13/04/17 AS 09h46
ACTON	BLINK S 2	COMPACT SKATEBOARD	1000	29	18	20	22,5	14	5,44	113,4	81,8 x 21,6	83		2 MOTORES HUB 500W	<a href="https://www.actonglobal.com/product/blink-s2/">https://www.actonglobal.com/product/blink-s2/</a>	13/04/17 AS 10h41
ACTON	BLINK QUATRO	LONGBOARD	1600	37	23	30	35,4	22	7,71	127	86,36 x 22,86	99		4 MOTORES HUB 400W	<a href="https://www.actonglobal.com/product/blink-quattro/">https://www.actonglobal.com/product/blink-quattro/</a>	13/04/17 AS 11h37
BOOSTED	DUAL	LONGBOARD	1500	32,2	20	20	19	7 A 12	6,8	127	96,52 x 25,4	76,2		2 MOTORES BRUSHLESS DC 750W	<a href="https://shop.boostedboards.com/products/board">https://shop.boostedboards.com/products/board</a>	14/04/17 AS 09h24
BOOSTED	DUAL +	LONGBOARD	2000	35,4	22	25	19	7 A 12	6,8	127	96,52 x 25,4	76,2		2 MOTORES BRUSHLESS DC 1000W	<a href="https://shop.boostedboards.com/products/board">https://shop.boostedboards.com/products/board</a>	14/04/17 AS 10h12
BOOSTED	SINGLE	LONGBOARD	1000	28,9	18	10	19	7 A 12	6,12	127	96,52 x 25,4	76,2		MOTOR BRUSHLESS DC 1000W	<a href="http://wheeledboards.com/product/boosted-single-1000w-electric-skateboard/">http://wheeledboards.com/product/boosted-single-1000w-electric-skateboard/</a>	14/04/17 AS 11h40
LEIF	ESNOWBOARD	LONGBOARD	2500	37	23	15	16	10	13,6	??	91,44 x 35,56 x 25,4	70		2 MOTORES BRUSHLESS DC 1250W	<a href="http://www.leiftech.com/product/leif">http://www.leiftech.com/product/leif</a>	14/04/17 AS 13h17

## **APÊNDICE B – DESENHOS DE MONTAGEM**



Nº ITEM	NOME	QUANTIDADE	Nº DESENHO	Rev. Orig.		Des.Nr.
				Material	Nº. Modelo	
05	MONTAGEM TRUCK TRASEIRO	01	B-0003			
04	PORCA AUTOTRAVANTE M5	08				
03	MONTAGEM TRUCK DIANTEIRO	01	B-0002			
02	SHAPE LONGBOARD DOWNHILL	01				
01	PARAFUSO PHILLIPS M5X30 CABEÇA CHATA	08				

Item	Ordo	Tratamento	Nº. Modelo	Ref. Orig.
Des.	MATTHEUS	Form. A-2		
Approv.		Esc.		

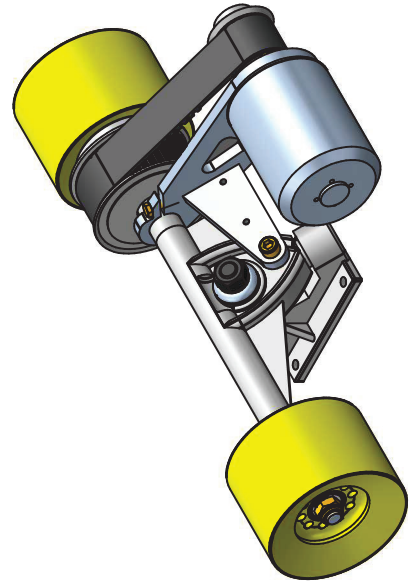
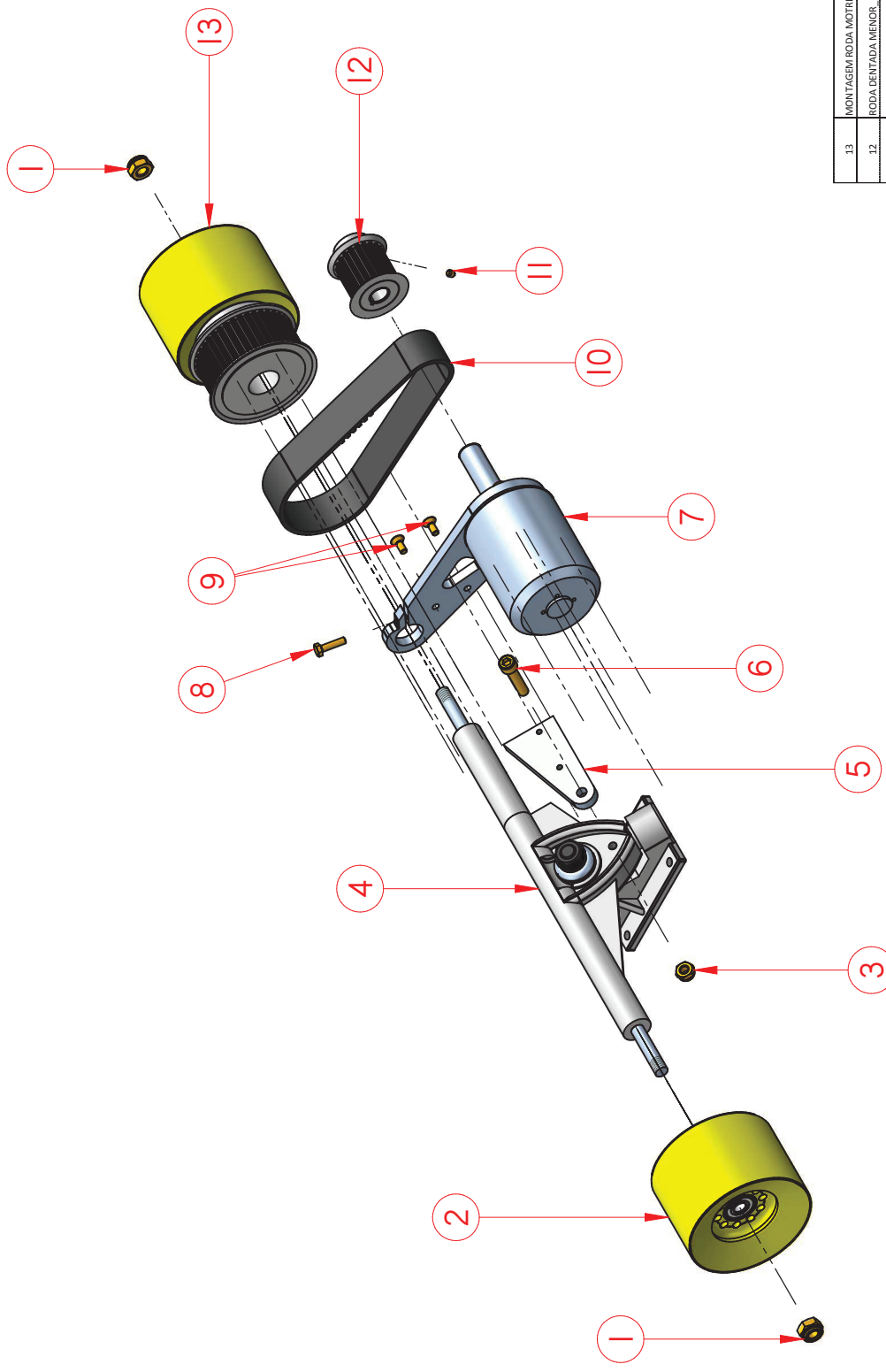
Conjunto: Longboard\_prototipo\_1

Partes: Montagem\_longboard\_prototipo1

Des.Nr.: B-0001

ITEM	Nº. CAP.	DATA	NOME	APROV.





Item	Código	Nome	Material	N.º Modelo	Ref. Orig.	N.º Desenho
13		MONTAGEM RODA MOTRIZ		01		B-0006
12		RODA DENTADA MENDR. P20-56MT-25-NPB		01		C-0008
11		PARAFUSO SEXTAVADO INTERNO M4X4 SEM CABECA		01		
10		CORREIA 355-56MT-25-POWERGRIP-GT3		01		
09		PARAFUSO PHILLIPS M4X10 CABECA CHATA		02		
08		PARAFUSO SEXTA VALDO M4X16		01		
07		MONTAGEM MOTOR FIXAÇÃO		01		B-0005
06		PARAFUSO SEXTAVADO INTERNO M6X30 CABECA CILINDRICA		01		
05		HASTE FIXAÇÃO MOTOR		01		C-0003
04		TRUCK 250mm ADAPTADO		01		C-0001
03		PORCA SEXTAVADA AUTOTR/ANTE M6		01		
02		MONTAGEM RODA 80mm		01		B-0004
01		PORCA SEXTAVADA AUTOTR/ANTE M8		02		

Item	Tratamento	Form.	Qtd.
Des.	MATTHEUS	A-2	
Apr.			

Conjunto: Longboard\_prototipo1

Para: Montagem\_Truck\_Traseiro

Rev. Orig. Des.Nr. B-0003

ITEM	N.º CAP	DATA	NOME	APROV.

LIBERADO PARA PRODUÇÃO

NATUREZA DAS ALTERAÇÕES

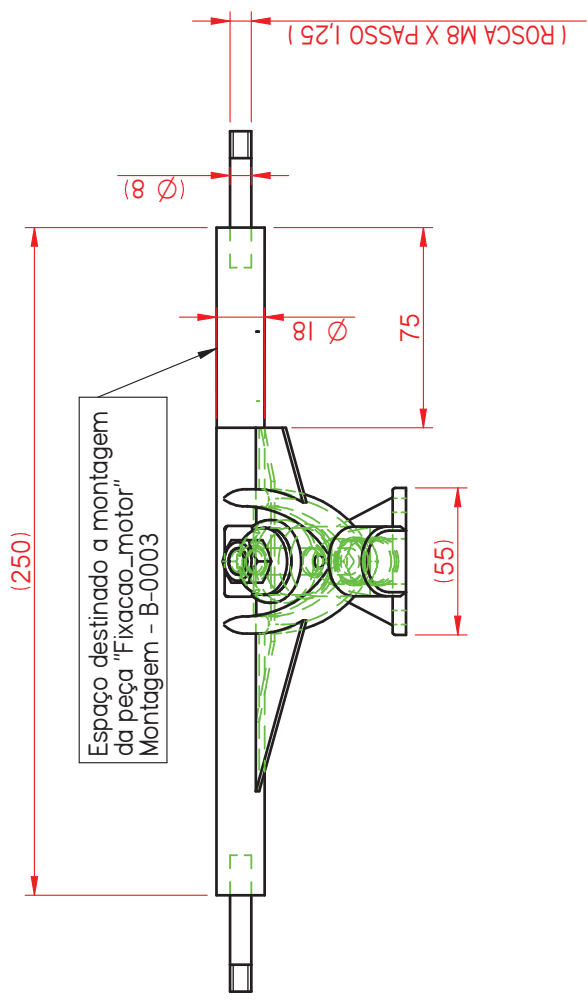
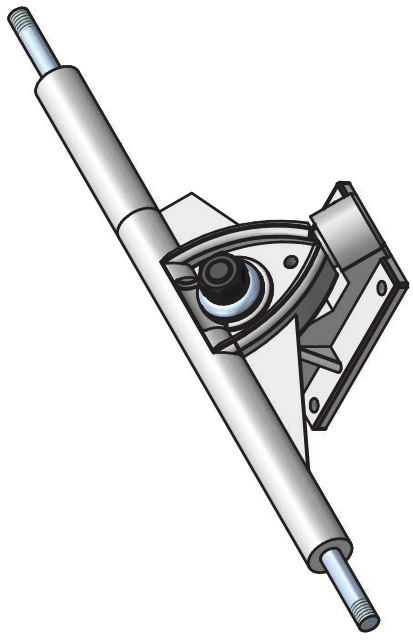
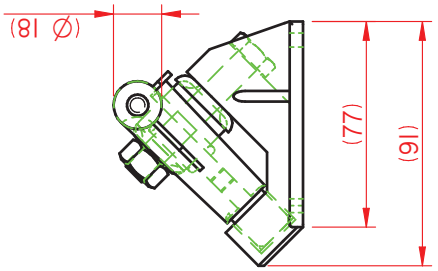
REVISÃO 00



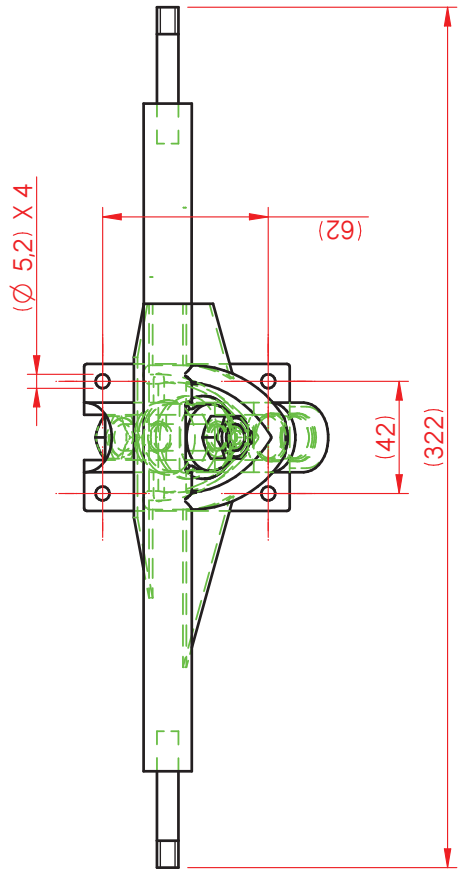




## APÊNDICE C – DESENHOS DE FABRICAÇÃO



Espaço destinado a montagem da peça "Fixacao\_motor" Montagem - B-0003

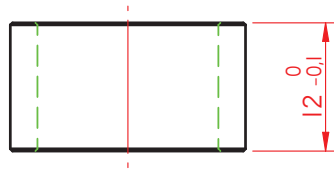
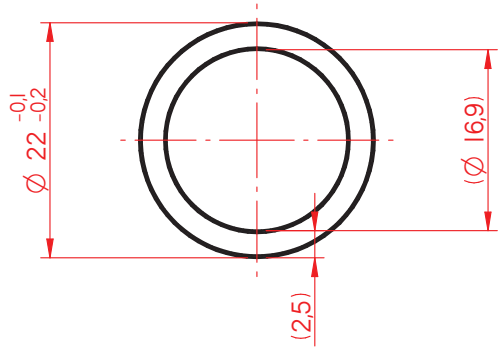


Medidas entre parênteses são medidas comerciais

Item	Qtde	Tratamento	Material	Nº. Modelo	Ref. Orig.
Des.	MATTHEUS	Form. A - 3			
Approv.		Esc. 1 : 1			
Conjunto:					
<b>Montagem_Truck_Traseiro</b>					
Forte:					
<b>Truck_250mm_adaptado</b>					Des.Nr.
					<b>C-0001</b>

REVISÃO 00

ITEM	Nº. CAP	DATA	NOME	APROV.
---	---	---	---	---
LIBERADO PARA PRODUÇÃO				
NATUREZA DAS ALTERAÇÕES				

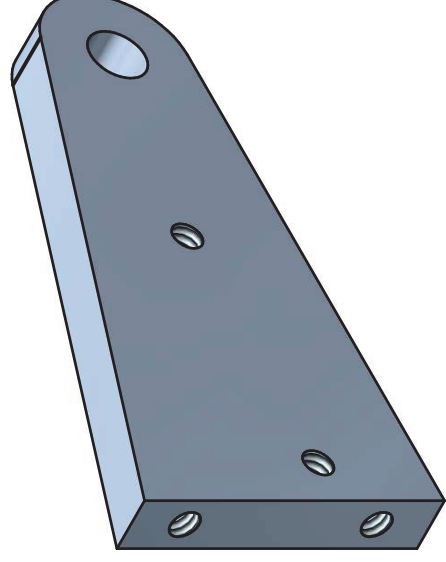
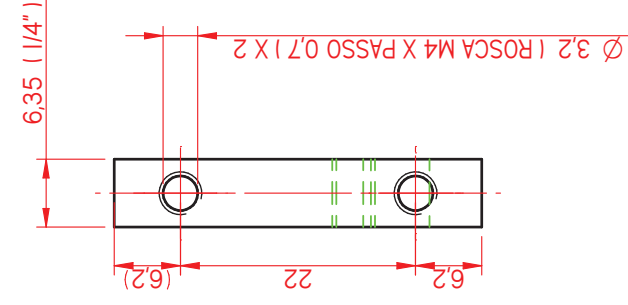
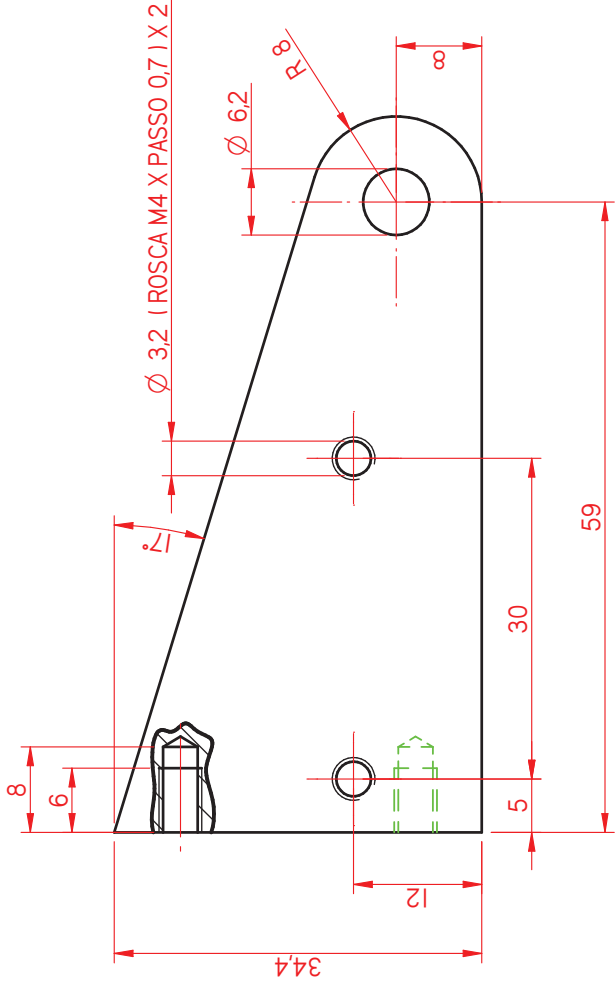


Materia-prima: TUBO REDONDO 7/8"x2,65x3000 SAE 1020 GALVANIZADO

ITEM	Nº CAP	DATA	NOME	APROV.
--	--	--	--	--
LIBERADO PARA PRODUÇÃO				
NATUREZA DAS ALTERAÇÕES				

Item	Ctde	Tratamento	SAE 1020	Material	Nº Modelo	Ref. Orig.
Des.	MATTHEUS	Form. A - 3				
Aprov.		Esc.				
Conjunto:						
Montagem_roda80mm						
Parte:						
Espacador_roda						Des.Nr.
						C-0002

REVISÃO 00



Materia-prima: CHAPA DE ACO CARBONO 1/4"X1200X3000 SAE 1020  
 Tratamento: Galvanização branca  
 Fabricação: Corte Laser

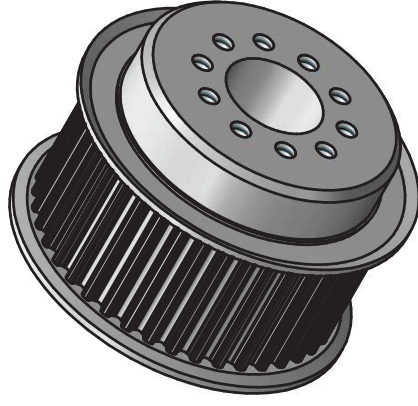
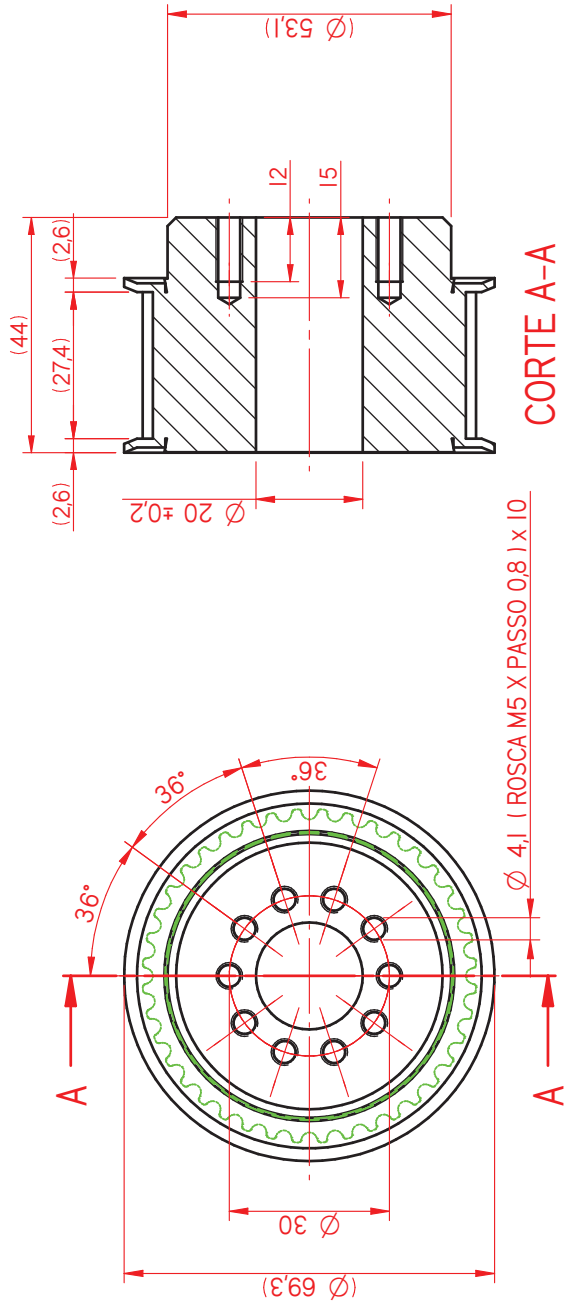
ITEM	Nº. CAP	DATA	NOME	APROV.
---	---	---	---	---
LIBERADO PARA PRODUÇÃO				---
NATUREZA DAS ALTERAÇÕES				---

Item	Ctcle	Tratamento	SAE 1020	Material	Nº. Modelo	Ref. Orig.
Des.	MATTHEUS	Form. A - 3				
Approv.		Esc.				
Conjunto:						
<b>Montagem_Truck_Traseiro</b>						
Parte:						
<b>Haste_fixacao_truck</b>						Des.Nr.
						<b>C-0003</b>

REVISÃO 00





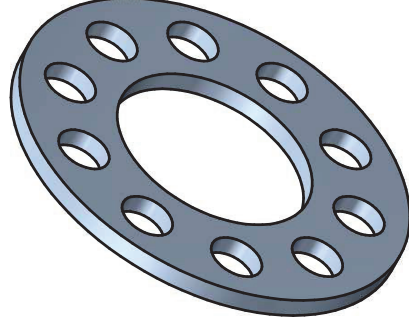
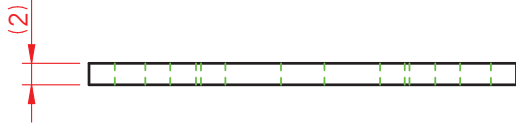
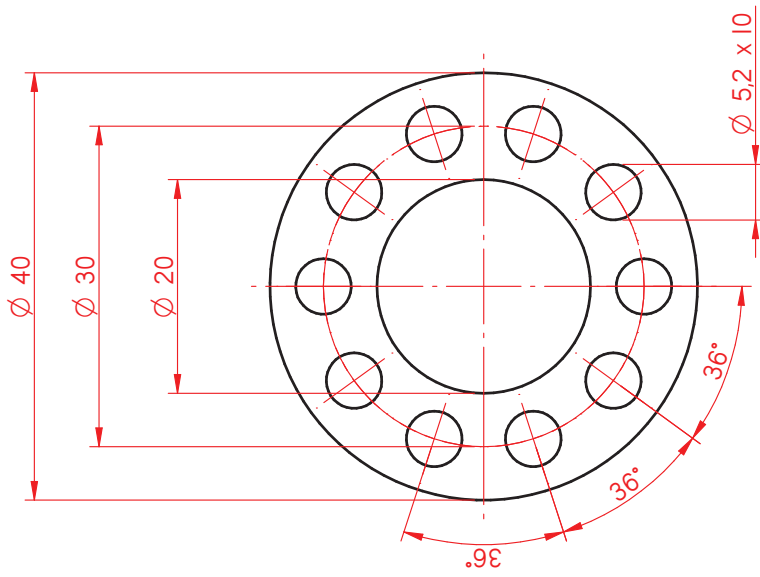


Materia-prima: RODA DENTADA P40-5GMT-25-MPB ( GATES )

Item	Ctde	Tratamento	Iron	Nº Modelo	Ref. Orig.
Des.	MATTHEUS	Form. A - 3	Material		
Approv.		Esc.			
Conjunto:					
<b>Montagem_Roda80mm_motriz</b>					
Farte:					
Roda_dentada_maior_P40-5GMT-25-MPB					
Ref. Orig.					Des.Nr.
					<b>C-0006</b>

REVISÃO 00

ITEM	Nº CAP	DATA	NOME	APROV.
---	---	---	---	---
LIBERADO PARA PRODUÇÃO				
NATUREZA DAS ALTERAÇÕES				

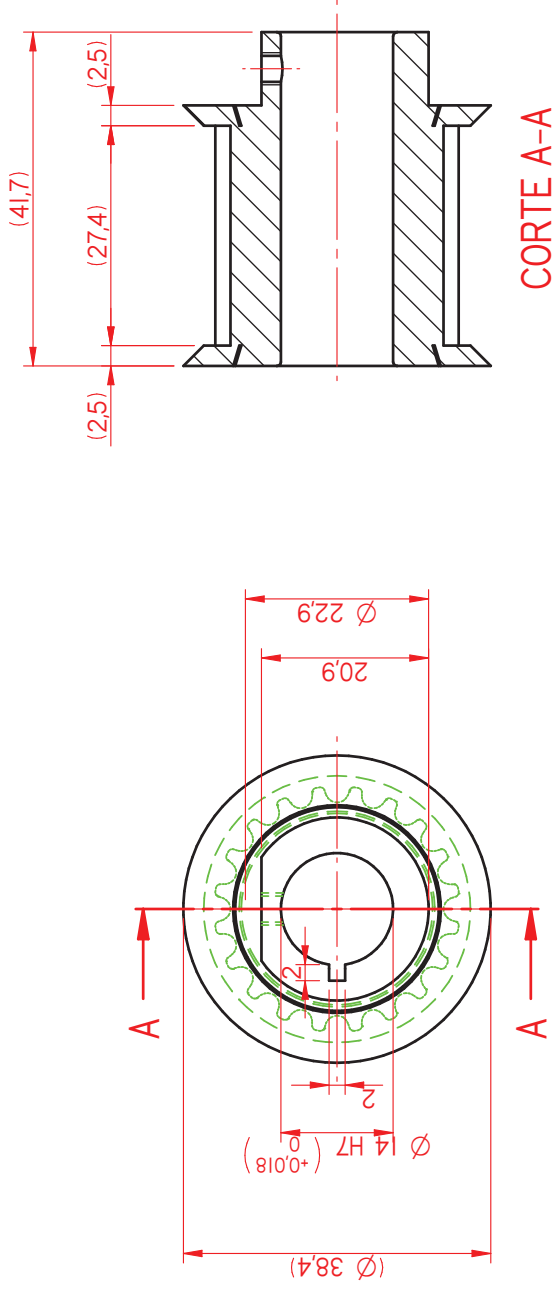


Materia-prima: CHAPA ACO CARBONO 2mmX1200X3000 SAE 1020  
 Tratamento: Galvanização  
 Fabricação: Corte Laser

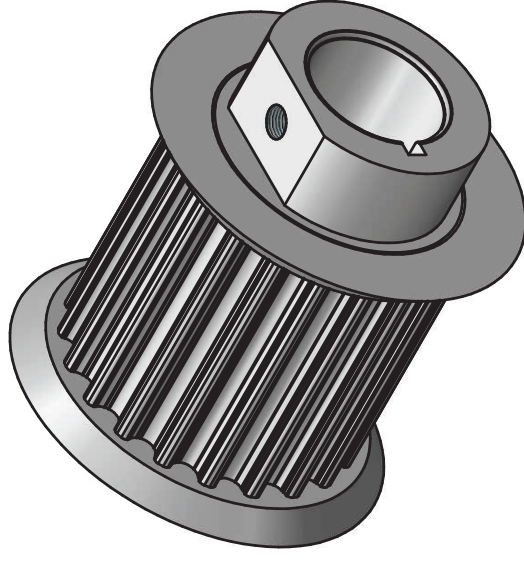
ITEM	Nº. CAP	DATA	NOME	APROV.
---	---	---	---	---
LIBERADO PARA PRODUÇÃO				
NATUREZA DAS ALTERAÇÕES				

Item	Qtde	Tratamento	SAE 1020	Material	Nº. Modelo	Ref. Orig.
Des.	MATTHEUS	Form. A - 3				
Aprov.		Esc.				
Conjunto:						
<b>Montagem_Roda80mm_Motriz</b>						
Parte:						
<b>Flange_Fixacao_Roda80mm</b>						
Ref. Orig.						Des.Nr.
						<b>C-0007</b>

REVISÃO 00



CORTE A-A



Materia-prima: RODA DENTADA P20-5GMT-25-MPB ( GATES )

Ø 3,2 ( ROSCA M4 X PASSO 0,7 )

ITEM	LIBERADO PARA PRODUÇÃO	Nº. CAP	DATA	NOME	APROV.
---	NATUREZA DAS ALTERAÇÕES	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Item	Ctcle	Tratamento	Iron	Nº. Modelo	Ref. Orig.
Des.	MATTHEUS	Form. A - 3	Material		
Approv.		Esc.			
Conjunto:					
<b>Montagem_Truck_Traseiro</b>					
Farte:					
Roda_Dentada_Menor_P20-5GMT-25-MPB			Ref. Orig.	Des.Nr.	
				<b>C-0008</b>	

REVISÃO 00