

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

ALTAIR SUFFI
DOUGLAS ISMAEL DA CONCEIÇÃO

SKATE ELÉTRICO COM CONTROLE DE VELOCIDADE

Joinville

2018

ALTAIR SUFFI
DOUGLAS ISMAEL DA CONCEIÇÃO

SKATE ELÉTRICO COM CONTROLE DE VELOCIDADE

Monografia apresentada ao
CST Mecatrônica Industrial
do Instituto Federal de
Santa Catarina para a
obtenção do diploma de
Tecnólogo em Mecatrônica
Industrial.

Orientador: Michael Klug

Joinville
2018

Suffi, Altair

Skate Elétrico com Controle de Velocidade / Altair Suffi, Douglas Ismael da Conceição ; orientação de Michael Klug. Joinville, SC, 2018. 44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Joinville. Superior de Tecnologia em Mecatrônica.

Inclui Referências.

1. Skate. 2. Arduino. 3. Acelerômetro. 4. Controle.

1. Klug, Michael. 2. Conceição, Douglas Ismael da. 3. Instituto Federal de Santa Catarina. 4. Título.

SKATE ELÉTRICO COM CONTROLE DE VELOCIDADE

ALTAIR SUFFI
DOUGLAS ISMAEL DA CONCEIÇÃO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Joinville, 12 de Dezembro 2018.

Michael Klug
Dr.

Prof. José Flavio
Dr.

Miguel Tobias Bahia
Me.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente as nossas famílias por nos incentivar e encorajar à cumprir essa jornada, sem pensar em desistir nos momentos de dificuldade.

Ao Instituído Federal de Santa Catarina e todo o seu corpo docente por nos ter permitido adquirir o conhecimento necessário para que assim pudéssemos alcançar o nosso objetivo.

Ao professor Michael Klug, por toda orientação disponibilizada no decorrer do desenvolvimento do projeto.

A todos que de alguma forma contribuíram com sugestões, informações, recursos e auxílios para que este projeto pudesse ser finalizado da forma que foi pretendido.

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto e construção de um *skate* elétrico com controle de velocidade, acionado através de variação angular que o mesmo sofre por ação do usuário, sendo controlado por uma placa eletrônica que recebe sinais de um acelerômetro giroscópio. O projeto engloba a confecção de uma bateria para o fornecimento de energia dos sistemas elétricos. O projeto mecânico foi construído com o auxílio do software de modelagem 3D Solidworks. O programa é compilado em uma plataforma de prototipagem eletrônica com código na linguagem C que recebe os dados fornecidos pelo acelerômetro giroscópio e envia o sinal para o motor. Ao final são realizados ensaios do sinal gerado pelo programa de controle e levantados os custos do projeto.

Palavras-Chave: Skate, Arduino, Acelerômetro, Controle.

ABSTRACT

This work presents the design and construction of an electric skate with speed control, triggered by angular variation that the same suffers by the action of the user, being controlled by an electronic board that receives signals of an accelerometer gyroscope. The project includes the construction of a battery for the power supply of electrical systems. The mechanical design was built with the help of 3D modeling software Solidworks. The program is compiled into an electronic prototyping platform with code in the C language that receives the data provided by the gyro accelerometer and sends the signal to the engine. At the end, the signal generated by the control program is tested and the project costs are raised.

Keywords: Skateboard, Arduino, Accelerometer, Control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Características de Motores CA	14
Figura 2 –Características de Motores CC	15
Figura 3 –Motor Brushless	16
Figura 4 –Ligação em Série	17
Figura 5 –Ligação em Paralelo.....	17
Figura 6 –Arduino Uno	18
Figura 7 –MPU 6050	19
Figura 8 –Funcionamento do Acelerômetro	20
Figura 9 –Funcionamento do Giroscópio	20
Figura 10 –Esboço do Projeto	21
Figura 11 –Motor Brushless de Bicicleta Elétrica	22
Figura 12 –Controlador de Bicicleta Elétrica	23
Figura 13 –Célula de Lí-ion	23
Figura 14 –Esquema Elétrico Paralelo	24
Figura 15 –Esquema Elétrico Série.....	24
Figura 16 –Esquema Elétrico Final da Bateria	25
Figura 17 –Bateria 36V	25
Figura 18 –Esquema Elétrico Geral	26
Figura 19 –Roda Original	27
Figura 20 –Roda Cortada	27
Figura 21 –Roda Torneada.....	27
Figura 22 –Roda Fixada no Motor.....	28
Figura 23 –Roda Montada.....	28
Figura 24 –Bucha de Fixação.....	29
Figura 25 –Tubo de Aço	29
Figura 26 –Espaçadores Laterais.....	30
Figura 27 –Espaçadores Montados na Roda	30
Figura 28 –Demarcação nas Bases	31
Figura 29 –Bases Cortadas.....	31
Figura 30 –Placa de Fixação.....	32
Figura 31 –Suportes Fixados	32
Figura 32 –Calços Laterais.....	33

Figura 33 –Base Fixada	33
Figura 34 –Camada de Isolante	34
Figura 35 –Projeto Mecânico.....	34
Figura 36 – Instalação dos Sistemas	34
Figura 37 – Sinal com o Dispositivo a 30°	36
Figura 38 – Sinal com o Dispositivo a 15°	37
Figura 39 – Sinal com o Dispositivo a 0°	37
Figura 40 – Sinal com o Dispositivo a -15°	38
Figura 41 – Sinal com o Dispositivo a -30°	38
Figura 42 – Projeto Final	39
Figura 43 – Produto Comercial.....	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Li-ion - Do Inglês “lithium-ion”

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Continua

C - Linguagem de programação

USB – Do inglês Universal Serial Bus significa porta serial universal

CI – Circuito integrado

I2C - Protocolo de comunicação do Arduino

CAD – Abreviação de computer-aided design, desenho assistido por computador

V – Volts ou Tensão é a medida da diferença de um potencial elétrico

W – Watt equivale a potência produzida fruto de trabalho ou energia

mAh – Mili Ampéres Hora

GND – Ground

mm – Milímetros

M4, M6, M12 – Rosca métrica quatro, seis e doze milímetros

PWM – Pulse Width Modulation, modulação por largura de pulso

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivo específico	13
1.1.3 Justificativa	13
2 DESENVOLVIMENTO	14
2.1 Motores Eletricos	14
2.1.1 Características dos Motores	14
2.1.2 Motores Brushless	15
2.2 Baterias	16
2.2.1 Associação de Baterias	16
2.3 Arduino	18
2.4 MPU-6050	19
2.4.1 Acelerômetro	19
2.4.2 Giroscópio	20
3 METODOLOGIA	21
3.1 Concepção do Projeto	21
3.2 Sistema Elétrico	21
3.2.1 Motor	22
3.2.1 Controlador	22
3.2.3 Bateria	23
3.3 Estrutura Mecânica	26
3.3.1 Roda	26
3.3.2 Espaçadores Laterais	28
3.3.3 Base de Sustentação	30
3.4 Programação	34
3.4.1 Gráfico de Saída PWM	36
3.5 Estética	39
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
4.1 Dificuldades Encontradas	40

4.2 Custos.....	41
5 CONCLUSÃO.....	42
5.1 Sugestões de Melhorias	42
6 Referencias	43

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da humanidade, a sociedade vem se desenvolvendo cada vez mais rápido, e com os meios de transporte não é diferente. Conforme o tempo passou e as necessidades dos homens mudaram, a forma de se transportar também evoluiu. Hoje pode-se dizer que a barreira da distância foi vencida, uma vez que a velocidade nos permite chegar cada vez mais longe em menos tempo. Mas para chegar a esse estágio de tamanha eficiência, os transportes precisaram evoluir de acordo com os conhecimentos que a humanidade foi adquirindo.

Hoje em dia existem vários tipos de meios de transporte como, por exemplo, os automóveis que funcionam com motores a combustão, queimando combustível fóssil para gerar movimento. Conforme VASCONCELLOS. (2006), o aumento dos problemas de saúde decorrentes da poluição do tráfego urbano em grandes cidades tem sido exponencial nos países em desenvolvimento.

Este trabalho tem o intuito de mostrar o projeto e a confecção de um skate elétrico, com motor de corrente contínua, movimentado por baterias de Li-íon (íon lítio). Além do sistema eletrônico que gerencia o funcionamento, o protótipo integra também uma estrutura mecânica que permite a livre movimentação do veículo.

O veículo tem a capacidade de transportar uma pessoa, como em um skate comum, porém o que difere o skate elétrico deste trabalho é o fato de ele possuir apenas uma roda, fixada no centro de sua estrutura mecânica, o que faz com que a base tenha a capacidade de inclinação como uma gangorra*. O acionamento e controle de velocidade do motor será executado através da inclinação da base de sustentação, que por sua vez será controlada pela pessoa que estiver operando o skate.

* Gangorra (prancha retangular, apoiada no centro que realiza movimentos alternados entre as extremidades de baixo para cima)

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Confeccionar um skate elétrico, com controle de velocidade, utilizando a variação angular e aplicando os conhecimentos adquiridos nas disciplinas cursadas no curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial.

1.1.2 Objetivo específico

- ✓ Confeccionar a bateria, por meio da associação de células Lí-Ion;
- ✓ Projetar e desenvolver sistema de acoplamento da roda ao motor;
- ✓ Elaborar o projeto e realizar a confecção da base mecânica de sustentação;
- ✓ Desenvolver programa de gerenciamento e controle do deslocamento a partir da inclinação do veículo;
- ✓ Escolha do microcontrolador, do sensor de inclinação e desenvolvimento da interface de comunicação entre eles.

1.1.3 Justificativa

Avaliando os meios de transporte utilizados hoje em dia, pode-se constatar o seguinte: a automação na área de mobilidade gerou uma imensa facilidade para a humanidade, tanto no deslocamento de pessoas como na importação e exportação de mercadorias. Porém, todos os dias veículos automotores transitam pelas ruas, gerando uma quantidade enorme de poluição atmosférica, que contribui para o aumento do buraco na camada de ozônio bem como de outros malefícios para o meio ambiente e sociedade.

Este projeto tem a finalidade de mostrar à sociedade um meio alternativo de transporte individual. Assim como pretende servir de base para outras pesquisas, visto que integra conhecimento de áreas como mecânica, elétrica e eletrônica.

2 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será abordado todo o embasamento teórico e as pesquisas necessárias para o desenvolvimento do projeto. Também serão abordados alguns dispositivos e componentes eletrônicos que foram utilizados na confecção do trabalho.

2.1 Motores Elétricos

São máquinas capazes de converter energia elétrica em energia mecânica, para gerar movimento. Existem vários tipos de motores e cada um apresenta uma forma de trabalho conforme as necessidades de uso da aplicação.

2.1.1 Características dos motores

Os motores elétricos podem ser alimentados basicamente, com duas formas de energia elétrica. Os motores de corrente alternada (CA) Figura 1, que em geral podem ser ligados em redes elétricas domésticas ou industriais, tomando sempre cuidado com a tensão, que varia de uma região para outra do país. E os motores de corrente contínua (CC) Figura 2, que em geral necessitam de uma fonte específica de energia, e cuja tensão pode variar de acordo com a especificidade de cada motor.

Figura 1 – Características de motores CA.

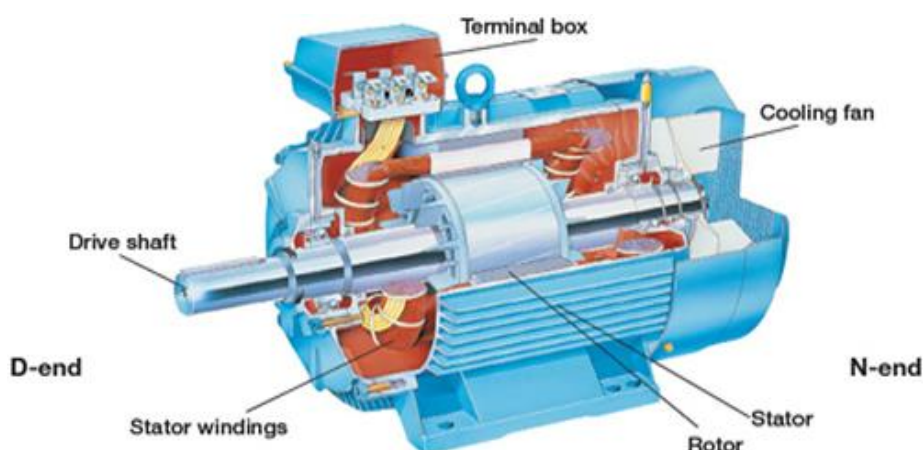
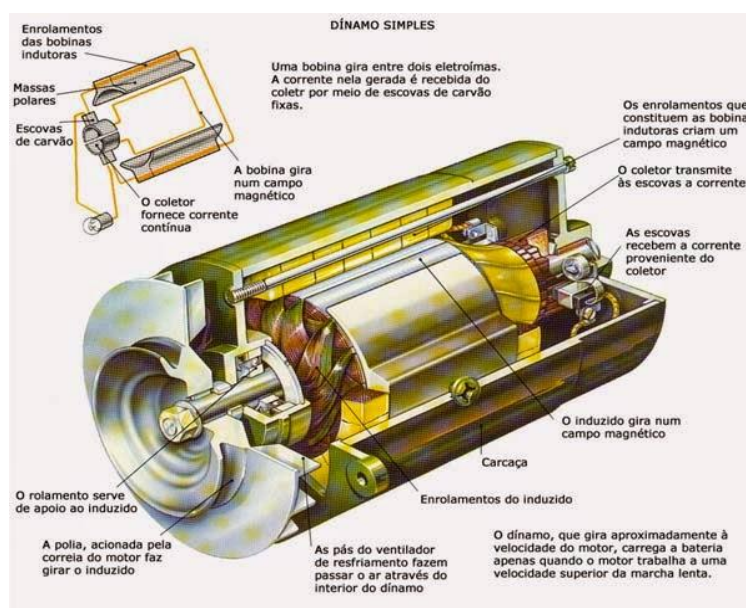


Figura 2 – Características de motores CC.



2.1.2 Motores Brushless

Os motores brushless, conforme mostrado na Figura 3 possuem uma tecnologia mais nova em relação aos motores de corrente contínua comuns. Os motores mais antigos usam-se de escovas, que são as partes condutoras de energia responsáveis por levar energia elétrica até as bobinas do motor localizadas no rotor. Já os motores brushless têm ímãs permanentes instalados diretamente no rotor, descartando a necessidade de acoplamento elétrico entre as partes que se movimentam, e assim tornando-os mais eficiente em termos de torque e potência. Porém, uma das grandes desvantagens dos motores sem escova é o seu elevado custo. Esses motores necessitam de um dispositivo eletrônico para realizar o acionamento e o controle de velocidade.

Figura 3 – Motor Brushless.



2.2 Baterias

Baterias são dispositivos acumuladores de energia e que tem a capacidade de fornecer para outros dispositivos. Elas variam de tamanho, dependendo a sua finalidade. Segundo Dias. (2012), a bateria mais simples que existe consiste em duas meias-células, preenchidas com um eletrólito condutor. O eletrólito é separado em duas metades por uma barreira, que impede o eletrólito de passar de uma metade para a outra, porém permite que íons carregados a atravessem. Os íons negativamente carregados movem-se em direção ao polo negativo, enquanto os positivos movem-se em direção ao polo positivo. Isso cria uma diferença de potencial entre os dois terminais da bateria.

2.2.1 Associação de Baterias

Existem vários tipos de baterias, porém nem sempre se consegue uma bateria que se adeque ao projeto em foco. Isso porque as baterias possuem tensão e capacidade de corrente bem específicas, sendo impossível variar esses parâmetros. Por isso, normalmente quando não se encontra uma bateria com as especificações ideais, são feitas associações que permitem atingir as características desejadas para um projeto.

Os tipos de associações de baterias possíveis são conhecidas como série e

paralelo. Na associação em série, que pode ser visualizada na Figura 4, liga-se o polo positivo de uma bateria ao negativo de outra e assim sucessivamente. Já na associação em paralelo, mostrada na Figura 5, os polos positivos são ligados entre si e os negativos da mesma forma. Quando a ligação está em série, as tensões das baterias são somadas, contudo a capacidade de corrente permanece a mesma. Já na ligação em paralelo, a tensão permanece a mesma, porém somam-se as capacidades de corrente de todas as baterias.

Figura 4 – Ligação em Série.

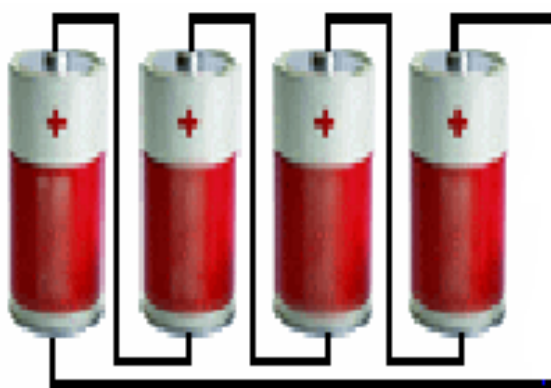
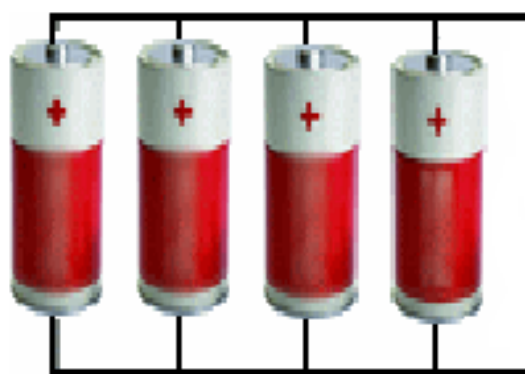


Figura 5 – Ligação em Paralelo.

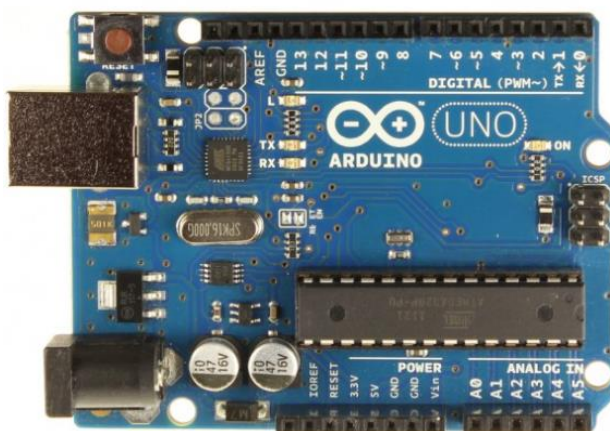


2.3 Arduino

O Arduino, mostrado na Figura 6, é uma placa eletrônica composta por um microcontrolador e vários outros componentes, que formam circuitos de entradas e de saídas. O Arduino possui uma grande vantagem em relação a outros tipos de placas de aquisição de dados, por que pode ser facilmente conectado a um computador e programado utilizando uma linguagem de programação baseada em C*. Também não exige muitas conexões externas, para projetos mais simples apenas um cabo USB. O dispositivo foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores com a finalidade de criar uma plataforma de desenvolvimento com custo acessível e de fácil programação, sendo assim disponível à estudantes, projetistas amadores, e até mesmo profissionais da área de automação.

Em termos práticos, o Arduino é um pequeno computador, que pode ser programado para processar e controlar a troca de informação entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que pode ser chamado de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware*** e *software**** MCROBERTS. (2011).

Figura 6 – Arduino Uno.



* C é um tipo de linguagem de programação compilada

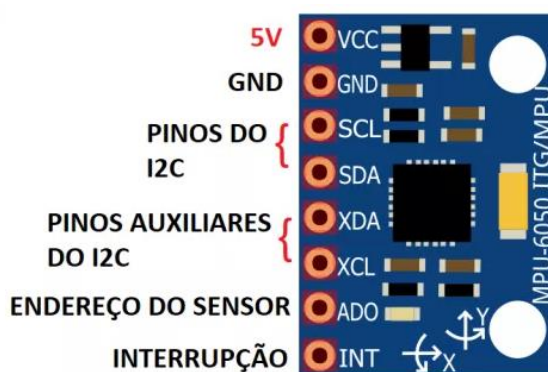
** Hardware corresponde a unidade física de um eletrônico

*** Software são sistemas que processam dados os programas utilizados pelos computadores

2.4 MPU 6050

O MPU6050 é um sensor de seis eixos, isso quer dizer que ele fornece seis valores de saída. Três valores são oriundos de um acelerômetro que são os eixos X, Y e Z e os outros três são do giroscópio. O acelerômetro e o giroscópio estão embutidos em um único circuito integrado (CI), que utiliza um protocolo de comunicação I2C. No dispositivo utilizado, o CI está fixado em um módulo, facilitando o acesso aos pinos de comunicação, como mostra a Figura 7.

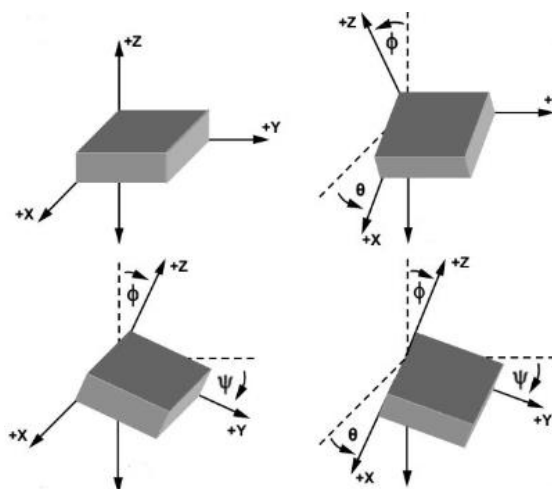
Figura 7 – MPU 6050.



2.4.1 Acelerômetro

O acelerômetro existente no módulo MPU 6050 funciona como uma espécie de sensor eletrônico que consegue medir aceleração, inclinação, vibração e outros. Apesar de parecer complicado, a interpretação do funcionamento é relativamente simples. O sensor reconhece o sentido da força da aceleração gravitacional e conforme ele sofre inclinação, através de cálculos matemáticos, ele se orienta e mostra o ângulo em que se encontram os eixos X, Y e Z. O sentido dos eixos que o sensor reconhece, conforme se desloca, está representado na Figura 8.

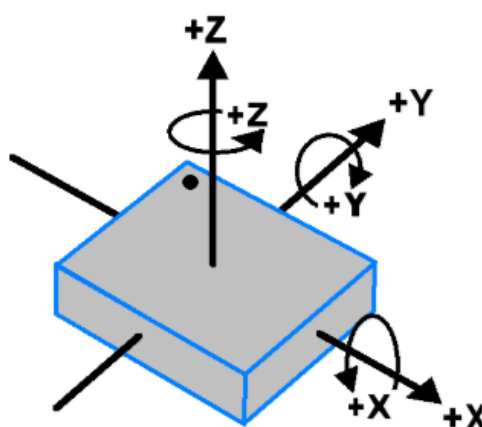
Figura 8 – Funcionamento do Acelerômetro.



2.4.2 Giroscópio

O giroscópio consegue monitorar a orientação, direção, movimento angular entre outros. Normalmente os giroscópios são utilizados para controle de velocidade angular, que é o número de giros de um determinado objeto em um segundo. O MPU6050 informa a leitura da variação em todos os eixos cartesianos. O objeto na Figura 9 exemplifica, através de vetores, as leituras que o sensor tem a capacidade de realizar.

Figura 9 – Funcionamento do Giroscópio.



3 METODOLOGIA

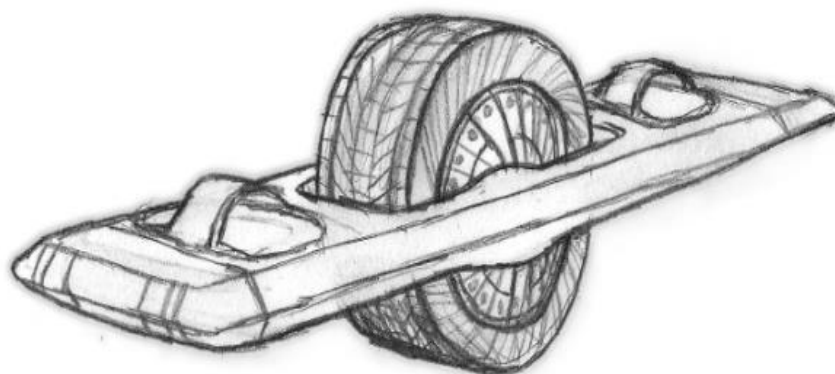
Neste capítulo será detalhado o desenvolvimento prático do projeto, apresentando o sistema elétrico, a estrutura mecânica, a programação do sistema de controle e a aquisição dos dispositivos que não foram confeccionados.

Para viabilizar o desenvolvimento de algumas peças do projeto, foi utilizado o *software CAD Solidworks*. Os arquivos gerados no programa podem ser visualizados na mídia digital deste trabalho, junto com o programa do sistema de controle, baseado na linguagem C.

3.1 Concepção do Projeto

Como já foi citado na introdução e objetivos deste trabalho, a ideia é fabricar um skate elétrico, com controle de velocidade através de variação angular. Como ponto de partida a equipe optou por fazer um esboço, observado na Figura 10.

Figura 10 – Esboço do Projeto.



3.2 Sistema Elétrico

O desenvolvimento do projeto iniciou com o dimensionamento e a elaboração do sistema elétrico, pois é necessário conhecer as dimensões de todos os componentes envolvidos antes de partir para o desenvolvimento da estrutura mecânica, tendo em vista que, conforme o esboço, a intenção é manter a parte elétrica e o sistema de controle enclausurado dentro da estrutura mecânica.

3.2.1 Motor

Para o sistema elétrico, dois componentes são considerados cruciais: o motor e a bateria. Através de pesquisas e comparações chegou-se à definição de utilizar um motor brushless de 36V e 350W, conforme Figura 11. Este motor é utilizado em bicicletas elétricas, o que o torna atraente para o projeto. Uma pequena desvantagem, como já citado, é que os motores brushless não podem ser alimentados diretamente pela bateria, eles necessitam de um controlador eletrônico. Devido a este fato, mais um componente precisou ser adicionado ao sistema elétrico do projeto.

Figura 11 – Motor Brushless de Bicicleta Elétrica.



3.2.2 Controlador Eletrônico

Como os dispositivos eletrônicos para controle de motores brushless possuem certa complexidade e requerem muito tempo para sua confecção, foi adquirido um controlador de bicicleta elétrica encontrado comercialmente. A imagem na Figura 12 mostra todas as conexões do controlador. Porém para o projeto do skate foram utilizados apenas os plugs da bateria, do motor e os cabos do acelerador para a entrada do sinal de controle. As outras saídas e entradas tais como freio, sistema de regeneração, alarme, velocímetro entre outros, não foram utilizadas pois necessitariam de mais tempo para otimização do projeto eletrônico/elétrico e programação elevando assim o custo.

Figura 12 – Controlador de Bicicleta Elétrica.



3.2.3 Bateria

A bateria disponível comercialmente que seria utilizada não atendia as dimensões físicas do protótipo. Assim após várias pesquisas, verificou-se a conveniência em projetar uma bateria que atendesse às necessidades de energia e dimensões do projeto.

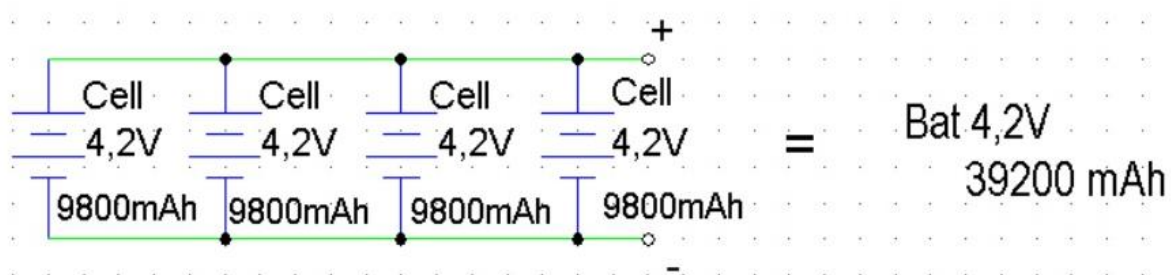
A tensão e corrente de cada uma das células de Li-ion utilizadas é de 4,2V e 9800mAh respectivamente. Esta célula é mostrada na Figura 13.

Figura 13– Célula de Li-ion.



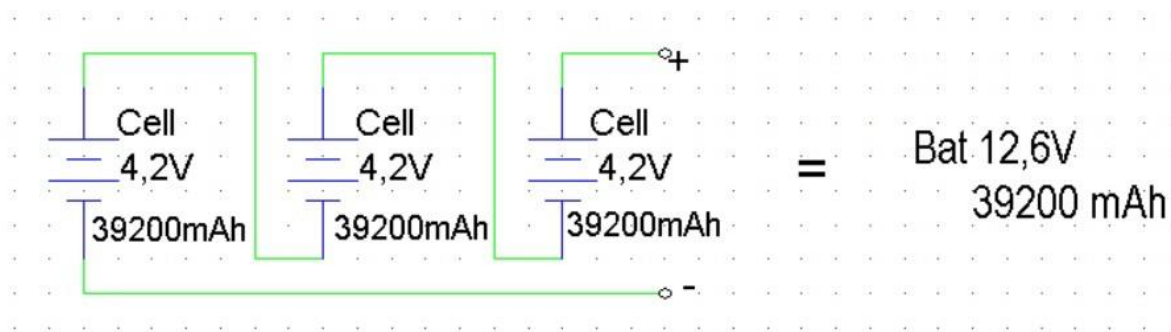
Para o funcionamento do motor foi desenvolvida uma bateria capaz de fornecer uma tensão de 36V. Almejando a maior autonomia possível do veículo, sem comprometer as dimensões da estrutura, foram conectadas 4 células em paralelo, formando assim um *pack* (do inglês pacote) com tensão máxima de 4,2V e corrente máxima de 39200mAh. A configuração citada é apresentada na Figura 14.

Figura 14 – Esquema Elétrico Paralelo.



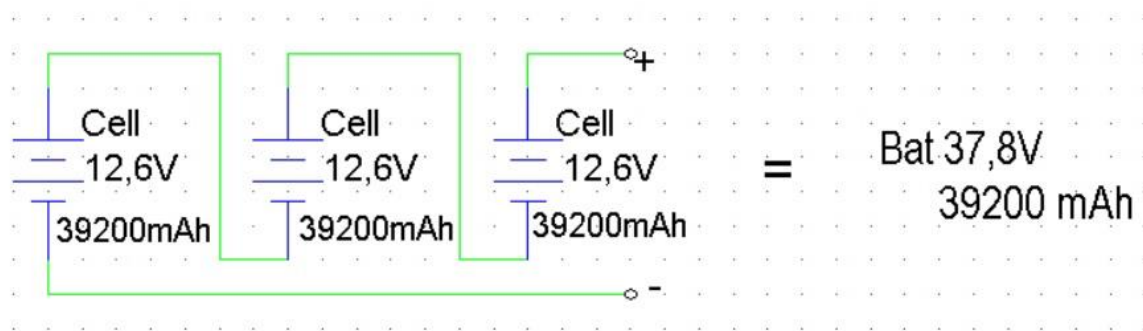
Conectadas em série, com mais dois *packs* idênticos, conforme a figura 14, formou-se um *pack* de 12,6V e 39200mAh, como visto na Figura 15.

Figura 15 – Esquema Elétrico Série.



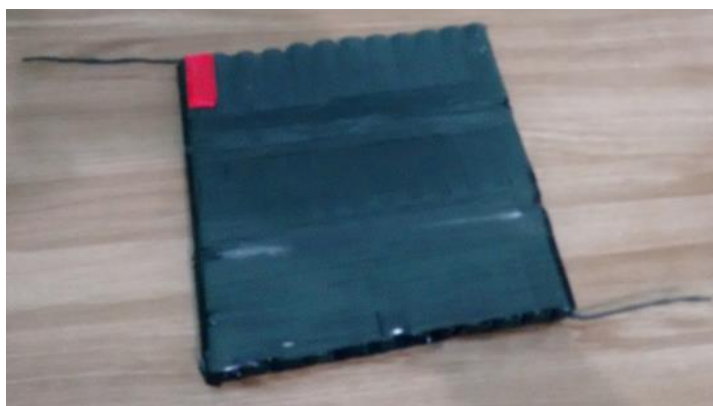
Por fim foram confeccionados três conjuntos de baterias de 12,6V, que foram conectadas em série, totalizando 37,8V e 39200mAh. Esta configuração final é mostrada na Figura 16.

Figura 16 – Esquema Elétrico Final da Bateria.



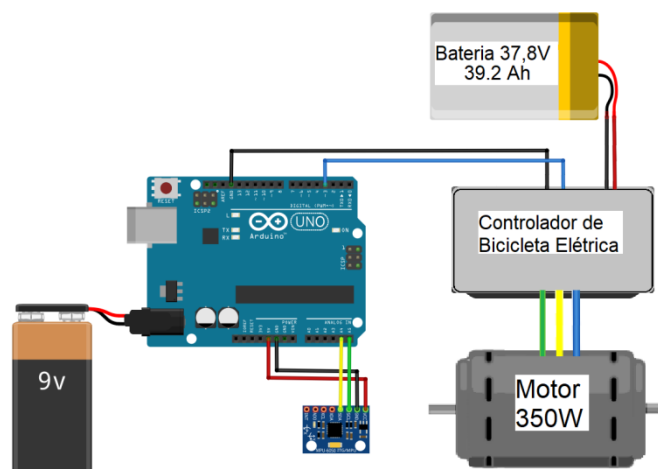
A Figura 17 apresenta a estrutura física da bateria já isolada. Para a conexão das células foi utilizado uma estação de solda de 450W e cabos condutores de cobre rígido de 2mm de diâmetro.

Figura 17 – Bateria 36V.



A Figura 18 exemplifica como estão ligados os componentes do sistema eletroeletrônico. O Arduino é energizado por uma bateria de 9V. A MPU 6050 é ligada ao Arduino pela saída de 5V e GND, a transmissão de dados é feita através dos pinos de interface I2C, pinos SDA e SCL conforme Figura 7, conectado aos pinos A4 e A5. O sinal digital é enviado através da porta 3, para referência é ligado um GND do Arduino ao controlador. O controlador de potência é alimentado exclusivamente pela bateria de 37,8V 39200mAh, assim o controlador pode acionar o motor.

Figura 18 – Esquema Elétrico Geral.



3.3 Estrutura Mecânica

Para o projeto mecânico foi definida uma característica fundamental. A estrutura deveria suportar uma pessoa adulta sobre a sua base, com o menor custo possível, tendo em vista que já havia sido gasto um alto valor no projeto do sistema elétrico.

3.3.1 Roda

Adquiriu-se uma roda pneumática sem câmara, comumente usada em karts, com estrutura em alumínio. Em seu estado original a roda não atendeu as necessidades do projeto, uma vez que o motor precisa ser montado no seu interior. A Figura 19 apresenta a estrutura da roda adquirida.

Diante desta realidade foi necessário fazer uma adaptação, através de processo de usinagem, para que a roda se adequasse à fixação do motor. A roda foi cortada, visando utilizar somente as duas extremidades, conforme Figura 20, e faceada em torno convencional, para que quando estiver fixada no motor ela mantenha as características de acoplamento com o pneu. A Figura 21 mostra o resultado desse processo.

Figura 19 – Roda Original.



Figura 20 – Roda Cortada.



Figura 21 – Roda Torneada.



Para a fixação da roda no motor foram realizadas furações, mantendo as mesmas medidas dos furos, com rosca M4x1mm, já existentes no motor. Em seguida a roda foi fixada no motor com parafusos M4x20mm. E o resultado pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 – Roda Fixada no Motor.



Inicialmente foi previsto um pneu sem câmara de ar. No entanto como a vedação após a adaptação não foi suficiente, uma câmara foi acrescentada ao projeto. A montagem final do conjunto motor/roda, mostrado na Figura 22, da câmara de ar e do pneu de borracha é apresentada na Figura 23.

Figura 23 – Roda Montada.

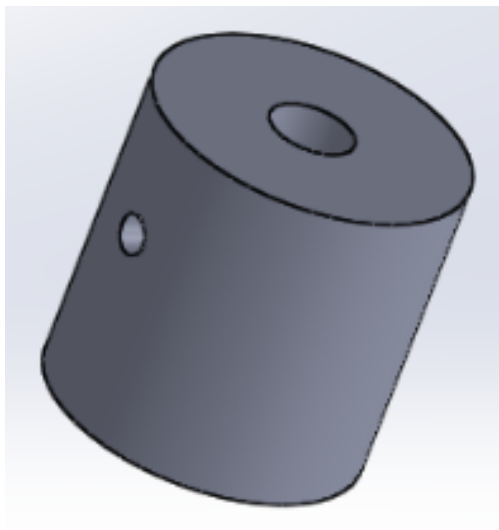


3.3.2 Espaçadores Laterais

O projeto necessitava de apoios laterais, fixados no motor, e a informação inicial era a rosca M12x1.25mm existentes nos eixos do motor. Com o auxílio do

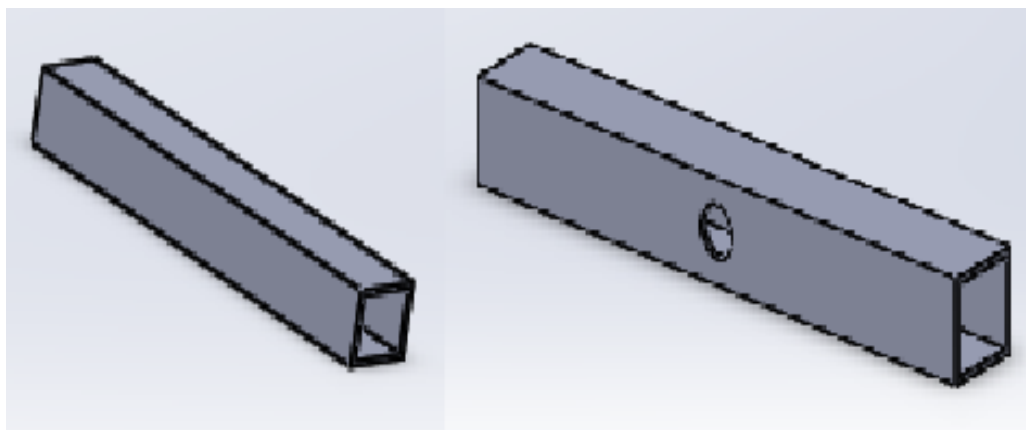
Solidworks foram desenvolvidas algumas peças, apresentadas nas figuras 24 e 25 que serviram para formar o sistema de apoio do skate.

Figura 24 – Bucha de Fixação.



Foram usinadas duas buchas de fixação, conforme Figura 24, sendo uma para cada eixo do motor.

Figura 25 – Tubo de Aço.



Dois tubos de aço foram confeccionados com a finalidade de serem soldados nas buchas, formando assim os apoios laterais. A Figura 26 mostra os espaçadores prontos, após o processo de soldagem. Os tubos possuem as mesmas dimensões, porém em um deles foi adicionado um furo, com diâmetro de 20mm para a passagem dos cabos de alimentação do motor.

Figura 26 – Espaçadores Laterais.



Na Figura 27 podem ser vistos os espaçadores montados na roda. O travamento das peças no eixo é realizado com parafusos sem cabeça, com rosca M6x1mm, dispostos perpendicularmente ao eixo do motor.

Figura 27 – Espaçadores Montados na Roda.



3.3.3 Base de Sustentação

Para desenvolver a base foram utilizados quatro *shapes* (base de madeira do skate). Dois para formar o suporte superior da base e outros dois para formar o suporte

inferior. A Figura 28 mostra onde as peças foram marcadas para serem cortadas, visando facilitar o encaixe nos espaçadores e garantir que o motor possa girar sem atrito com a base.

Figura 28 – Demarcação nas Bases



As peças cortadas ficaram na condição da Figura 29. Como os *shapes* já tinham uma furação com padrão de fábrica, foi projetada uma peça para unir as bases cortadas, aproveitando as furações já existentes. Foram fabricadas quatro placas conforme imagem da Figura 30.

Figura 29 – Bases Cortadas.



Figura 30 – Placa de Fixação.



Para realizar o processo de fixação foram feitas roscas M6x1mm em todos os furos das placas e inseridos parafusos com cabeça chata, para não deixar ressaltos. A Figura 31 mostra os suportes fixados. Após a fixação foram cortadas as pontas dos parafusos e lixadas as faces das placas, objetivando eliminar quaisquer rebarbas.

Figura 31 – Suportes Fixados.



Para fixar o suporte inferior no superior, e auxiliar na distribuição do peso do operador, foram confeccionados calços de madeira, conforme mostra a Figura 32. A fixação foi realizada diretamente pela base com parafusos para madeira.

Figura 32 – Calços Laterais.



Para fixar a base de sustentação nos espaçadores foram feitas furações nas laterais da base e furos com rosca M6x1mm nos espaçadores. A Figura 33 mostra a base de sustentação fixada nos espaçadores laterais.

Figura 33 – Base Fixada.



Neste ponto o projeto já está apto para receber a instalação do sistema elétrico. Por questão de segurança, como todos os dispositivos serão fixados dentro da base, uma camada fina de borracha foi adicionada na parte inferior interna da base, como pode ser visto na Figura 34. Evitado assim a possibilidade de curto circuito e possíveis vibrações. A Figura 35 mostra a estrutura mecânica montada.

Figura 34 – Camada de Isolante.

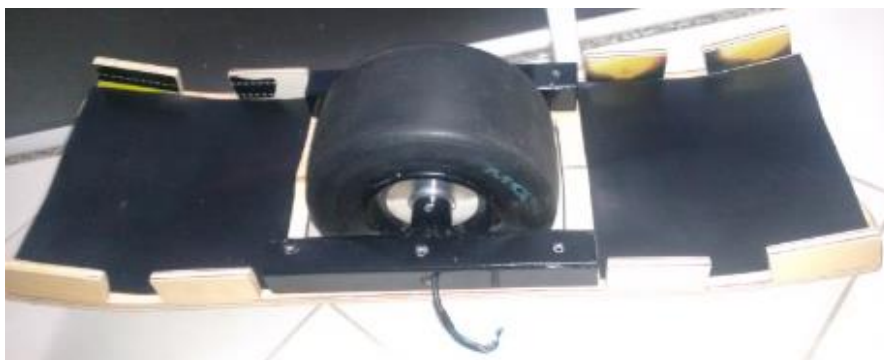


Figura 35 – Projeto Mecânico.



3.4 Programação

Na Figura 36 pode ser visto o projeto com o sistema elétrico e o sistema de controle, contendo uma placa Arduino UNO para executar o programa e um módulo acelerômetro giroscópio modelo MPU 6050 para fazer a leitura de dados. Instalados para acionar os sistemas individualmente, foram inseridos dois interruptores, onde um deles controla a bateria e o outro controla o Arduino, inicialmente o Arduino seria ligado com a própria bateria do projeto, mas com o intuito de acelerar o término do trabalho foi feita alimentação individual através de uma bateria de 9V.

Figura 36 – Instalação dos Sistemas.



A programação consiste em realizar a leitura dos dados fornecidos pela placa MPU 6050, mais precisamente pelo eixo Y do giroscópio, através do Arduino. A mesma relaciona os valores obtidos e, através de uma saída PWM, que envia pulsos para o controlador do motor. Segue abaixo o fluxograma do programa que é executado.

```
//Programa : Skate eletrico com controle de velocidade
//Alteracoes e adaptacoes : Altair Suffi, Douglas Conceição
//Baseado no programa original de JohnChi

#include<Wire.h> //Carrega a biblioteca Wire
const int MPU=0x68; //Endereco I2C do MPU6050
int GyY,motor;//Variaveis, para armazenar valor do giroscopio em Y e controlar o motor
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x6B);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission(true);
  pinMode(3,OUTPUT); //Porta de saida para o controlador
  analogWrite(3, 0);
}

void loop()
{
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x3B);
  Wire.endTransmission(false);
  Wire.requestFrom(MPU,14,true);

  GyY=Wire.read()<<8|Wire.read();

  motor = map(GyY, 6300, 800, 150, 255);

  if (motor<100){
    motor=0;
  }
}
```

```

if (motor>255){
    motor=255;
}

Serial.println(motor);
analogWrite(3,motor);

//Aguarda 30 ms e reinicia o processo
delay(30);
}

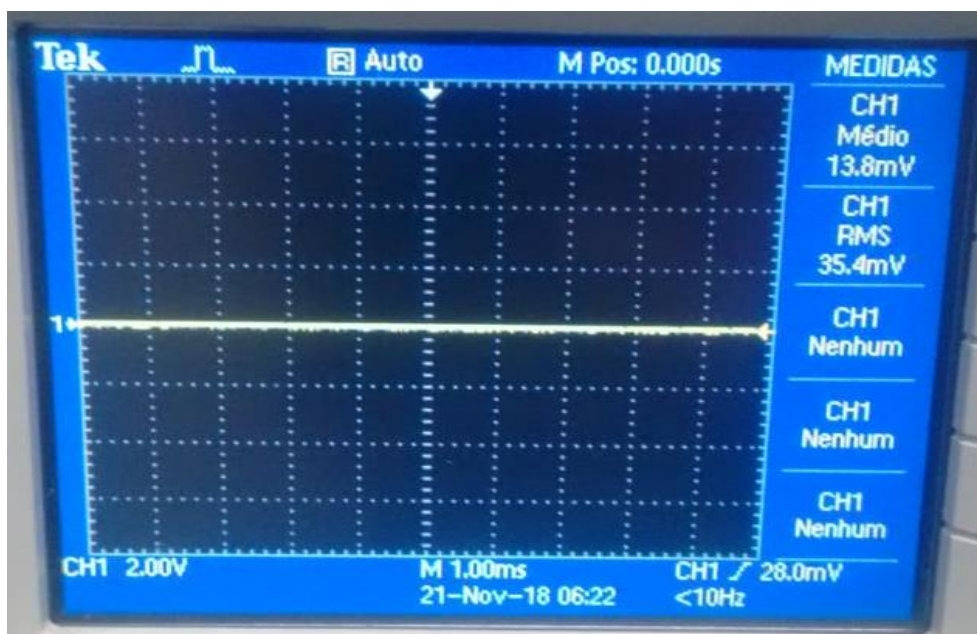
```

3.4.1 Gráfico de Saída PWM

Com o auxílio de um osciloscópio (Dispositivo de medição de sinais elétricos/eletrônicos), foram realizadas algumas medições para verificar o comportamento do sinal gerado pelo código de controle do dispositivo. As Figuras 35 a 39 mostram os resultados obtidos.

A primeira medição foi realizada com o projeto em angulação inicial aproximadamente 30° , obtendo o sinal visto na Figura 37, onde a tensão é zero, indicando que o objeto encontra-se parado.

Figura 37 – Sinal com o Dispositivo a 30° .



Com a base levemente inclinada, em aproximadamente 15° , o motor já gira em

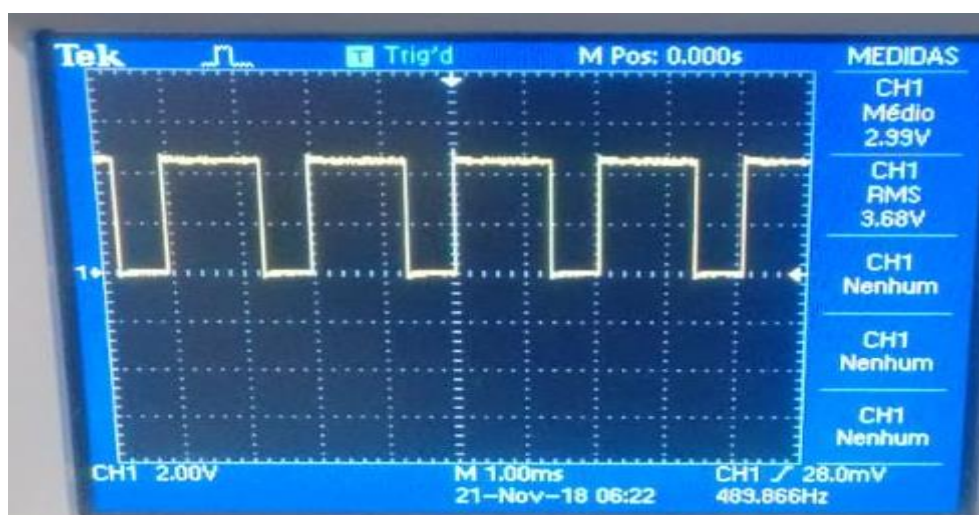
velocidade baixa, e o gráfico da Figura 38 mostra o sinal que é enviado para o controlador, com uma tensão média de 1.96V.

Figura 38 – Sinal com o Dispositivo a 15°.



Após sofrer mais uma pequena inclinação o skate encontra-se em 0°. Observa-se que a tensão média se amplifica para 2.99V, conforme visto na Figura 39, mostrando que o sistema de controle do projeto funciona.

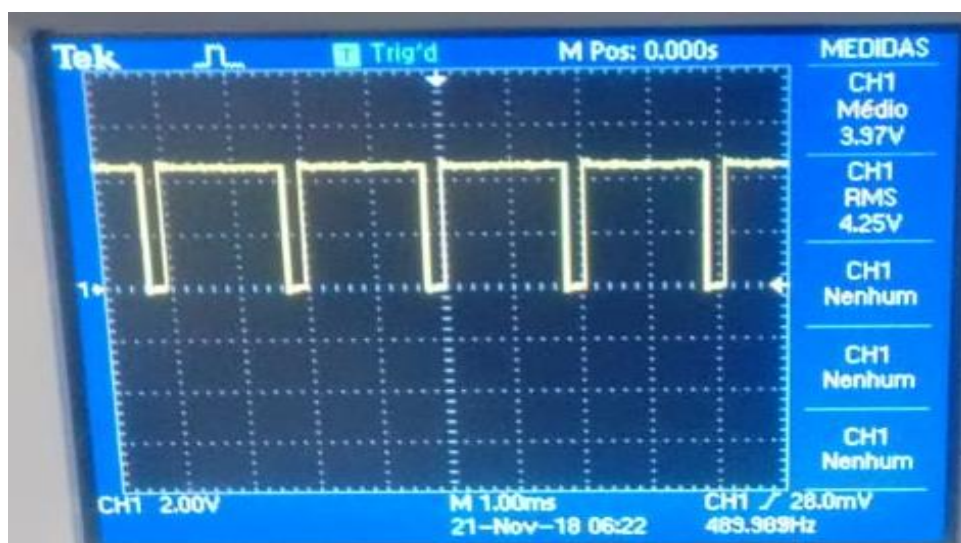
Figura 39 – Sinal com o Dispositivo a 0°.



Com a estrutura do skate se aproximando no nível do solo, registrando -15°, a tensão média do sinal é de 3,97V. Analisando o comportamento do gráfico na Figura 40 observa-se que, além da elevação de tensão o tempo em nível lógico alto também

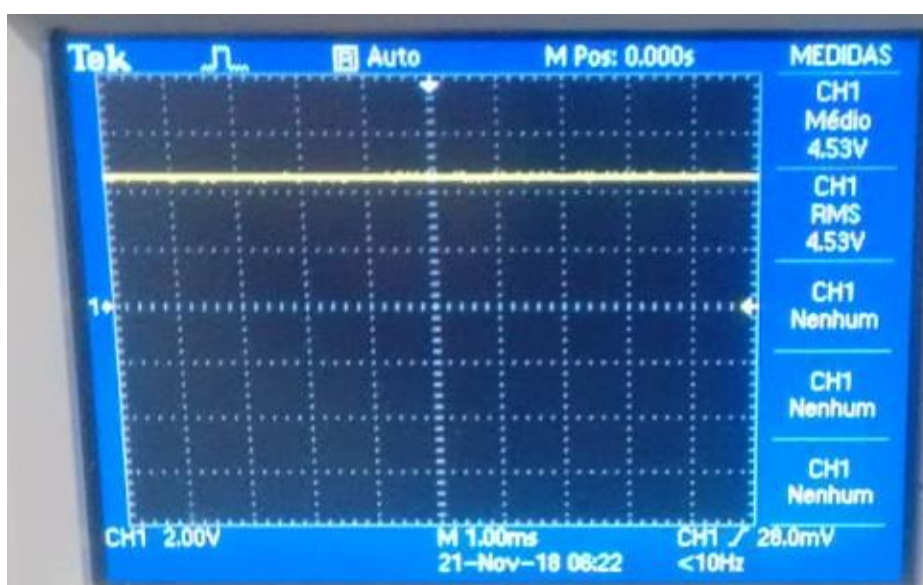
aumenta conforme a base vai sofrendo inclinação.

Figura 40 – Sinal com o Dispositivo a -15° .



Com a estrutura mecânica totalmente inclinada, cerca de -30° , onde a base frontal quase encostada no chão, o sinal é contínuo em nível lógico alto, com uma tensão média de 4,53V. A Figura 41 mostra o sinal. Nessa situação o skate encontra-se em velocidade máxima.

Figura 41 – Sinal com o Dispositivo a -30° .



3.5 Estética

Após o término do sistema de controle, com testes e ajustes finalizados, o projeto estava pronto para ser utilizado, porém para garantir a segurança do operador e melhorar a aparência visual, foi aplicada lixa na base superior e um acabamento nas laterais, para evitar a entrada de pequenos materiais que poderiam danificar o sistema elétrico/mecânico. O resultado final é mostrado na Figura 42.

Figura 42 – Projeto Final.



4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O projeto desenvolvido atendeu as expectativas e os objetivos inicialmente estabelecidos. A bateria projetada, além de atender bem o sistema, não apresenta aquecimento devido ao uso, podendo ser recarregada sem dificuldades. O sistema mecânico suporta facilmente uma pessoa adulta sem apresentar falhas estruturais. O sistema de controle responde bem a variação angular imposta pelo usuário, e o motor atende aos requisitos do projeto.

4.1 Dificuldades Encontradas

A aquisição dos materiais foi lenta, devido ao alto custo de alguns componentes. Além disso, as peças necessárias não eram encontradas na região, o que tornava a operação de fabricação mais demorada, pois a entrega pelo sistema de correios, que eventualmente atrasava, prolongava a execução do projeto.

Foi verificado que algumas peças obtidas não atendiam ao projeto na sua forma original, e precisaram ser adaptadas através de usinagem, solda e outros processos de fabricação, para que se encaixassem ao protótipo.

Nos testes iniciais, com o projeto já em pleno funcionamento, observou-se que o produto apresenta certa dificuldade de operação devido às questões de equilíbrio, porém sua locomoção não é impossível. Assim como andar de bicicleta não se aprende em um único dia, somente o tempo de prática pode permitir o aperfeiçoamento.

4.2 Custos

Descrição das peças	Quantidade	Valor em R\$
Células de Li-ion	36	260,00
Motor 350W	1	590,00
Controlador do motor	1	180,00
Roda de Kart usada	1	50,00
Pneu de Kart usado	1	15,00
Shape de skate	4	130,00
Arduino uno	1	35,00
Mpu 6050	1	20,00
Carregador	1	170,00
Conectores 10A	3	60,00
Interruptor 30A	1	40,00
Diversos	-	150,00
	Total	1700,00

Tabela 1 – Custo do projeto

Fonte: Autores

Para efeito de comparação de custo, foi realizada uma busca em sites, e selecionado o modelo da Figura 43 que se assemelha muito ao projeto desenvolvido. O mesmo é vendido online por US\$1195.00 que convertendo para real ficaria R\$ 4620,71, com o dólar cotado a R\$ 3.87 no dia 02-12-2018.

Figura 43 – Produto Comercial.



5 CONCLUSÃO

Neste trabalho de conclusão para o curso superior em mecânica industrial foi desenvolvido o projeto que resultou na confecção de um skate elétrico, com controle de velocidade. Apesar de apresentar algumas limitações o projeto foi considerado bem sucedido, pois através dos resultados obtidos, seu funcionamento cumpre o que foi anteriormente proposto.

O desenvolvimento do projeto e a fabricação do skate foram de grande valia, pois proporcionaram aos autores não só colocar em prática as disciplinas cursadas em sala de aula, mas também para a absorção de novos conhecimentos obtidos na fase de estudos e análises.

5.1 Sugestões de Melhorias

A base do projeto foi construída com grande quantidade de madeira e as peças de fixação em aço, por este fato o projeto se tornou robusto e pesado, resultando assim numa certa perda de rendimento do sistema. Para um melhor aproveitamento do dispositivo sugere-se fabricar toda estrutura mecânica em alumínio.

No desenvolvimento do projeto foi utilizado um pneu usado, onde o mesmo apresenta a superfície arredondada, oriunda do desgaste, tornando mais difícil o equilíbrio do operador. Para implementações futuras sugere-se o uso de um pneu novo, para que assim o projeto tenha mais estabilidade em relação ao solo.

Para um melhor desempenho do protótipo e redução de custos, ao invés de utilizar controlador de bicicleta elétrica, com circuitos desnecessários para o skate, poderia ser projetado e construído um circuito específico para controlar o motor. Substituir o motor de 350W por um de 500W também proporcionaria melhor performance no dispositivo.

REFERÊNCIAS

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara da. **Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos**. Ed. do autor. São Paulo: 2006.

RSA, ENGENHARIA. **Partes e características de um motor de corrente contínua**.

Site. Disponível em:

(<http://www.rsaengenharia.com/2015/09/partes-e-caracteristicas-de-um-motor-de.html>). Acesso em: 18 jun. 2018.

SPEEDOTECH, ENGENHARIA. **Partes e características de um motor de corrente alternada**.

Site. Disponível em:

(<http://speedotechengg.com/index.php/ac-motor/three-phase-ac-motor>)

MCMA. **Motion Control & Motor Association**. Site. Disponível em: (<https://www.motioncontrolonline.org>). Acesso em: 18 jun. 2018.

DIAS, Helio. **Eletricidade e Magnetismo**. 1º Ed. São Paulo: Brookman, 2012.

ELECTRONICA. PT. **Associação de Baterias**. Site. Disponível em: (<https://www.electronica-pt.com/associacao-baterias>). Acesso em: 19 jun. 2018.

MICROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. 2º Ed. São Paulo: Novatec, 2011.

ELETRODEX. ELETRÔNICA. **Arduino UNO**. Site. Disponível em: (<https://www.eletrodex.com.br/arduino-uno-r3-cabo-usb.html>). Acesso em: 31 jul. 2018.

AUTO CORE BLOG. **MPU 6050**. Site. Disponível em: (<http://autocorerobotica.blog.br>). Acesso em: 31 jul. 2018.

ELETRONIC WINGS. **Sensors Modules**. Site. Disponível em:

(<http://www.electronicwings.com/sensors-modules/mpu6050>). Acesso em: 31 jul. 2018.

MERCADO LIVRE. **Motor de Bicicleta Elétrica**. Site. Disponível em: (<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1096360347-motor-dianteiro-icicleta-eletrica-350w-36v>). Acesso em: 24 ago. 2018.

MERCADO LIVRE. **Controlador de Bicicleta Elétrica**. Site. Disponível em: (<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1070812342-modulo-controlador-bicicleta-eletrica-18a-36v>). Acesso em: 24 ago. 2018

AMAZON. **SkootRider Black on Black**. Site. Disponível em: (https://www.amazon.com/SkootRiderBlackon/dp/B07B879MW5/ref=sr_1_3?ie=UTF8&qid=1543771564&sr=8-3&keywords=one+wheel). Acesso em: 02 dez. 2018