

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Fabio Ugalde Pereira

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE FRENAGEM  
REGENERATIVA PARA BICICLETAS**

Santa Maria, RS

2019



Fabio Ugalde Pereira

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE FRENAGEM REGENERATIVA  
PARA BICICLETAS**

Trabalho final da disciplina de Projeto Integrador submetido ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Maria como avaliação final e requisito para obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Controle e Automação**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Ecke Bisogno

Santa Maria, RS

2019



Fabio Ugalde Pereira

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE FRENAGEM REGENERATIVA  
PARA BICICLETAS**

Trabalho final da disciplina de Projeto Integrador submetido ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Maria como avaliação final e requisito para obtenção do título de **Bacharel em Engenharia de Controle e Automação**

Avaliado em \_\_\_\_\_:

---

**Fábio Ecke Bisogno, Dr. (UFSM)**  
(Orientador)

---

**Claiton Moro Franchi, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2019



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de dispersão de Altitude e Velocidade.....	15
Gráfico 2 - Tempo médio de frenagem por percurso .....	22
Gráfico 3 - Tensão por Período para Tap de 0,5 W.....	23
Gráfico 4 - Tensão por Período para Tap de 5,5 W.....	24
Gráfico 5 - Tensão RMS no tap de 5,5 W por velocidade.....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados disponíveis sobre o dínamo .....	18
Tabela 2 - Componentes da bancada de testes .....	20
Tabela 3 - Razão de conversão de rotação do pneu para dínamo.....	21
Tabela 4 - Capacidade de fornecimento de carga do sistema.....	25
Tabela 5 - Capacidade de fornecimento de carga do sistema levando em consideração as perdas nos dispositivos retificadores .....	26



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Shimano® Nexus DH-C600-3N-NT .....	8
Figura 2 - Ponte retificadora a diodos com capacitor para diminuição de <i>ripple</i> .....	11
Figura 3 - Circuito retificador CC-CC do tipo Buck-Boost .....	12
Figura 4 - Fluxo de energia e componentes retificadores.....	12
Figura 5 - Fluxograma do funcionamento do método para cálculo do tempo de frenagem.....	16
Figura 6 - Área frontal A do conjunto ciclista-bicicleta.....	17
Figura 7 - Dínamo por atrito no pneu .....	18
Figura 8 - Dínamo desmontado com duas saídas de potência .....	19
Figura 9 – Bancada para ensaio do dínamo .....	20
Figura 10 - Instrumentação do ensaio realizado .....	20

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
1.1.	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	6
1.2.	OBJETIVOS .....	7
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1.	PESQUISA DE MERCADO.....	8
2.2.	FÍSICA DO USO DE BICICLETAS .....	9
2.3.	NOÇÕES DE ELETROMAGNETISMO E CIRCUITOS DE POTÊNCIA.....	10
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>13</b>
3.1.	TEMPO DE FRENAGEM .....	13
3.2.	METODOLOGIA DESENVOLVIDA .....	14
3.3.	METODOLOGIA DE TESTE DO DÍNAMO .....	17
3.4.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO DÍNAMO.....	18
3.5.	BANCADA PARA ENSAIOS ELÉTRICOS .....	19
3.6.	ESTIMAÇÃO DE VELOCIDADE DE ROTAÇÃO .....	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>22</b>
4.1	RESULTADOS DA ANÁLISE DO TEMPO DE FRENAGEM.....	22
4.2	RESULTADOS DO ENSAIO DO GERADOR.....	23
4.3	PRODUTOS POSSÍVEIS .....	26
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>
	<b>ANEXO A – SCRIPT PARA ESTIMAÇÃO DE TEMPO MÉDIO DE FRENAGEM ...</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Dentro do cenário brasileiro, o total de deslocamentos realizados por bicicletas subiu de 1,2 bilhões/ano em 2003 para 2,6 bilhões/ano em 2014 (PIRES, A.B, 2016). No mesmo período, a distância total percorrida dobrou de 6 bilhões de km/ano para 12 bilhões de km/ano (PIRES, A.B, 2016). Ainda, a indústria de bicicletas iniciou o ano de 2018 com um crescimento de 49,8% na produção em relação ao mesmo período no ano anterior, sendo 57% do total produzido bicicletas da categoria Urbana (utilizadas para mobilidade urbana e recreação) (ABRACICLO).

Apesar dos benefícios oriundos da maior utilização de bicicletas, ainda há grandes desafios para integrar os ciclistas ao tráfego de veículos e pedestres. Poucas cidades possuem ciclovias ou ciclofaixas, obrigando ciclistas a dividir espaço com carros, ônibus e motocicletas – fato que aumenta o risco de acidentes neste segmento. No período de 2000 a 2010, ocorreram 32.422 óbitos de ciclistas devido a acidentes de transporte no Brasil – equivalendo a uma taxa de mortalidade bruta de 16,2 casos por milhão de habitantes (GARCIA, L. et al, 2013).

De modo que o ciclista possa transitar de maneira segura em meio às condições de trânsito locais, medidas preventivas de segurança devem ser tomadas. Equipamentos de segurança, tais como luvas e capacetes, são essenciais para quem utiliza este meio de transporte e diminuem o risco de lesões severas caso ocorra algum acidente.

No entanto, um dos principais problemas que leva à ocorrência de acidentes é a falta de visibilidade do ciclista em meio ao trânsito. Deve-se levar em consideração que a maioria das bicicletas não possui dispositivos ativos de sinalização e iluminação (luzes) ou até passivos (refletores), apesar de possuir pouca visibilidade natural. Desta forma, incentiva-se que ciclistas utilizem luzes de sinalização em qualquer hora do dia, a fim de se tornarem visíveis para as outras pessoas no trânsito ao seu redor.

Como meio de oferecer um produto para esta demanda, optou-se por realizar este trabalho baseado no princípio de frenagem regenerativa de automóveis elétricos. Estes veículos recuperam energia toda vez que o freio é acionado, sendo este mesmo conceito o foco central deste estudo. Assim, busca-se saber se é possível gerar energia suficiente para o acionamento de sistemas de iluminação e sinalização apenas durante as frenagens.

## 1.2. OBJETIVOS

Tendo em vista o número crescente de usuários de bicicletas no Brasil e este mercado em expansão, o presente trabalho propõe a análise de viabilidade de um conceito de um sistema de frenagem regenerativa adaptável a qualquer bicicleta que seja capaz de gerar energia elétrica para alimentar dispositivos de iluminação e sinalização.

Este trabalho visa o estudo de um sistema de baixo custo cujos componentes individuais possam ser adquiridos facilmente e a um baixo custo. Para poder analisar a capacidade de geração de energia do sistema ciclista-bicicleta, será analisado o tempo médio de frenagem por quilômetro em trajetos urbanos a partir de um grupo de dados obtidos pelo autor. De modo a converter a energia capturada durante as frenagens e convertê-la em energia elétrica, será ensaiado um dínamo (gerador síncrono) de baixo custo para o conhecimento de suas características como máquina elétrica. Por fim, cruzar-se-ão os dados para obtenção da real capacidade de carga do sistema.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho envolve conhecimentos de física da mecânica do movimento, bem como sobre o uso de máquinas elétricas para geração de energia. Os principais conceitos para o entendimento destes tópicos dentro do escopo deste estudo são mostrados a seguir.

### 2.1. PESQUISA DE MERCADO

Após a concepção do objetivo principal deste trabalho, uma pesquisa de mercado foi realizada para o conhecimento acerca de produtos similares já existentes e que estão disponíveis para compra. Um dispositivo muito comum e que marcou presença no mercado de bicicletas de vários países do mundo é o dínamo por atrito direto na roda. Relatos sugerem que os primeiros dínamos foram empregados para iluminação de bicicletas a partir do ano 1898 (CARD, P. 2007) pois nesta época, com o advento das lâmpadas incandescentes, a geração de energia para uso em iluminação com estes dispositivos tornou-se economicamente viável.

Apesar de possuir baixo custo, estes sistemas não possuem uma boa eficiência comparado aos dispositivos mais modernos. De modo a evitar as perdas por atrito, fabricantes de bicicletas e acessórios, como a conhecida marca Shimano®, fabricam cubos de roda que já possuem um gerador interno como pode ser visto na Figura 1 abaixo. Estes dispositivos são mais leves (pesando em média 700 gramas) que seus concorrentes antiquados e podem gerar até 3 Watts, suficiente para iluminação dianteira e sinalização traseira. O público alvo de vendas para este tipo de produto são ciclistas de longas distâncias e que possuem um maior poder aquisitivo pois estes cubos estão na faixa de preços de R\$1000,00 a R\$2000,00 por unidade.

Figura 1 - Shimano® Nexus DH-C600-3N-NT



Fonte: <https://bike.shimano.com/en-EU/product/component/nexus-c6000-int8/DH-C6000-3N-NT.html>

Após a realização de pesquisas nas bases acadêmicas, nota-se que o principal interesse em geração de energia com bicicletas tem motivação externa, geralmente focando na análise para alimentação de casas, fazendas (PELZ, B., FEIEREISEN, J. 2010) ou academias onde a energia gerada seria oriunda das bicicletas ergométricas, podendo chegar a 75W por hora por bicicleta (STRZELECKI, R., JARNUT, M., BENYSEK, G. 2007). Em sites e fóruns de entusiastas de eletrônica e ciclismo, o tema deste trabalho é muito discutido e é fruto de muitos experimentos informais. Desta maneira, assim como citado na Introdução, deu-se atenção a este tópico de modo a analisar a viabilidade deste sistema de geração de energia durante as frenagens através do uso de sistemas já comercializados e baixo custo.

## 2.2. FÍSICA DO USO DE BICICLETAS

As variáveis físicas sobre o uso de bicicletas são importantes para a análise quantitativa da potência passível de ser convertida em energia elétrica pelo dínamo. A primeira variável de interesse é a massa do conjunto ciclista-bicicleta pois ela influencia no cálculo das forças necessárias para manter o movimento.

Em um trajeto urbano convencional, o ciclista necessita vencer forças contrárias ao movimento, como a força de arrasto aerodinâmico, força de atrito de rolagem, força pelas perdas mecânicas na correia de transmissão e rolamentos das rodas e, quando há desnível, a força necessária para aumentar a energia potencial causada pela gravidade (MARTIN, J. C., MILLIKEN, D. L, COBB, J. E., et al, 1998). Ao somar todas as forças mencionadas, pode-se multiplicar pela velocidade instantânea do ciclista para encontrar a potência instantânea conforme a Equação 1 abaixo.

$$P = F \cdot v \quad (1)$$

Como este trabalho propõe somente a análise de recuperação de energia durante a frenagem, deve-se considerar apenas as perdas aerodinâmicas e de rolagem. Também é importante mencionar que a análise presume que o ciclista não esteja pedalando a durante a frenagem e que não há vento no sentido contrário ou a favor do movimento, restringindo o arrasto a apenas àquele causado pela própria velocidade do ciclista.

Outro fator importante é o tamanho da roda utilizada na bicicleta pois isto influencia diretamente na velocidade de rotação do rotor do dínamo escolhido. Como o gerador utilizado

opera por atrito direto com o pneu da bicicleta, existe uma taxa de conversão de rotação do rotor para a velocidade angular da roda. Os dados coletados para este trabalho foram adquiridos em uma bicicleta aro 29” (622 mm), tamanho que está cada vez mais ganhando espaço no mercado de bicicletas urbanas e mountain-bike.

### 2.3. NOÇÕES DE ELETROMAGNETISMO E CIRCUITOS DE POTÊNCIA

Como o tema proposto envolve geração de energia, as noções gerais e equações são oriundas de literatura de máquinas elétricas (CHAPMAN, S. 2012). Inicialmente, deve-se atentar à permeabilidade magnética relativa do meio, onde  $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N.A}^{-2}$ , conforme a Equação 2. Este valor influencia diretamente na eficiência do acoplamento magnético entre o campo magnético do ímã permanente e o campo magnético gerado pela força contra eletromotriz do enrolamento fixo. A densidade de fluxo magnético  $B$  correspondente é diretamente proporcional à permeabilidade relativa  $\mu_r$  e ao campo magnético  $H$ , é de suma importância para a transformação de energia cinética em energia elétrica. Isto pode ser verificado na Equação 3 abaixo.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} \quad (2)$$

$$B = \mu_r \cdot H \quad (3)$$

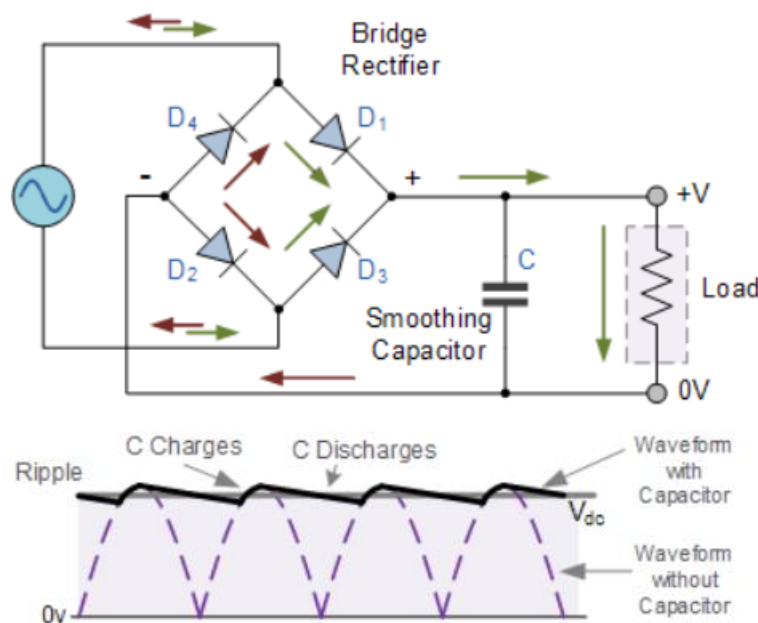
Ainda, a tensão induzida (Equação 4) é proporcional ao número de enrolamentos e à variação do fluxo magnético, a qual é diretamente relacionada à frequência de rotação da roda. Como o objeto de estudo para este trabalho é um gerador síncrono, esta equação pode ser simplificada e depende apenas da constante  $k$  relativa à construção da máquina, o fluxo magnético  $\phi$  e a velocidade angular do rotor  $\omega$ .

$$e_{ind} = -N \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = -k \cdot \phi \cdot \omega \quad (4)$$

Sabendo que geradores para uso em bicicletas geram energia em corrente alternada (CA), também se torna necessária a implementação de um circuito retificador pois, com a exceção de dispositivos simples como lâmpadas incandescentes, esta flutuação no fornecimento de tensão e corrente não permite a alimentação de dispositivos com LEDs e microcontroladores.

Assim, deve-se utilizar uma ponte retificadora de diodos (*bridge rectifier*) para converter o sinal alternado para contínuo, como pode ser visto na Figura 2 abaixo. A corrente resultante do uso deste circuito é contínua pois não varia de valores negativos à positivos, porém esta flutuação (*ripple*) ainda causaria problemas às cargas propostas. Assim, deve-se utilizar um capacitor em paralelo com a saída para atenuação e gerar um valor constante de tensão, dimensionado de acordo com a Equação 5 abaixo, na qual  $I$  representa a corrente,  $\Delta V$  a tensão máxima de *ripple* desejada e  $f$  a frequência do sinal.

Figura 2 - Ponte retificadora a diodos com capacitor para diminuição de *ripple*



Fonte: <https://electronics.stackexchange.com/questions/134249/full-wave-rectifier-capacitance-calculation>

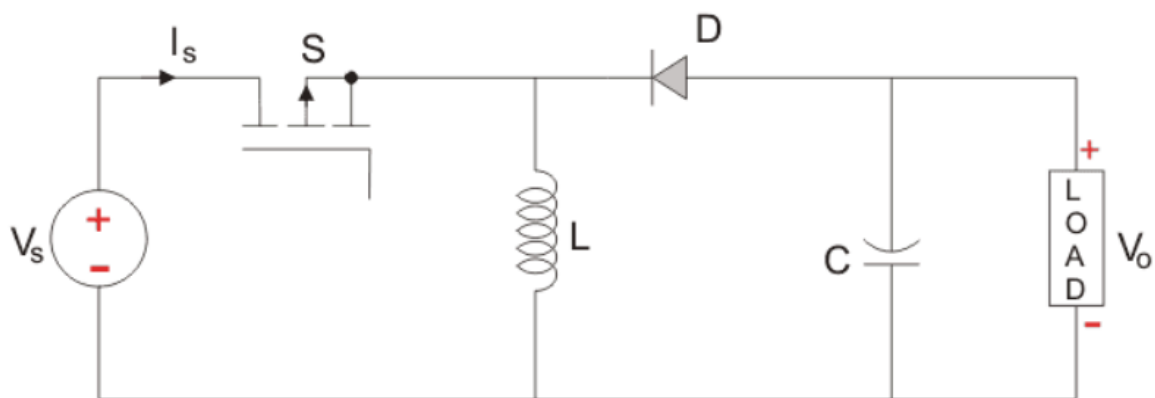
$$C = \frac{I}{\Delta V \cdot f} \quad (5)$$

Como estes geradores operam na faixa de 0 a 15V, deve-se optar por diodos que possuam baixa tensão de *threshold*. Este trabalho propõe o estudo de geração de energia durante a frenagem e isto implica em atingir máxima eficiência, sendo importante o funcionamento do gerador em velocidades baixas que implicam em tensões baixas. Para minimizar este tipo de perda, sugere-se a análise da possibilidade do uso de diodos não-convencionais para este fim, como diodos de Germânio (Ge) que possuem tensão de *threshold* menor em relação ao convencional diodo de Silício (Si).



Por fim, para este tipo de conversão de energia funcionar adequadamente, necessita-se de um conversor CC-CC que possa admitir em sua entrada tensões oscilantes (variantes conforme a velocidade do ciclista) e que entregue um nível de tensão constante na saída. Assim, propõe-se o uso de um conversor do tipo Buck-Boost (Figura 3) pois ele é capaz de converter tensões maiores e menores que a tensão de saída – parâmetro que pode mudar dependendo da aplicação desejada. Na figura abaixo,  $V_s$  representa a tensão fornecida pelo retificador a diodos e  $V_o$  a tensão de saída fornecida à carga.

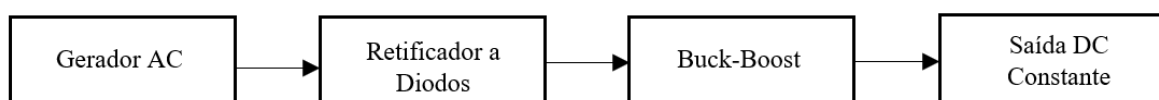
Figura 3 - Circuito retificador CC-CC do tipo Buck-Boost



Fonte: <https://electronics.stackexchange.com/questions/134249/full-wave-rectifier-capacitance-calculation>

A topologia final do circuito de retificação de tensão e corrente sugerida operaria conforme a Figura 4 abaixo. Todos os parâmetros de projeto devem ser otimizados conforme os dados do ensaio do dínamo para o funcionamento correto. Esta análise preliminar da parte elétrica sugere que, mesmo com a necessidade de retificação, o projeto ainda seria economicamente viável pois estes componentes de baixa potência são amplamente comercializados e possuem baixo custo.

Figura 4 - Fluxo de energia e componentes retificadores



Fonte: Autor

### 3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Para analisar a viabilidade da execução do projeto de frenagem regenerativa para bicicletas, torna-se necessária examinar dois principais tópicos: O tempo médio de frenagem da bicicleta por quilômetro e as características de geração de energia do dínamo escolhido. Ao descobrir as estimativas para estas grandezas, pode-se cruzá-las e obter os dados de energia gerada durante frenagem para o cálculo de viabilidade do projeto.

Os dados coletados refletem aproximadamente um ano de uso de bicicleta a lazer em ambiente urbano de rodovias pavimentadas nas redondezas da cidade de Santa Maria – RS. Assim, deve-se levar em conta no momento de análise as características de relevo, estradas e trânsito locais. Desta forma, o estudo de viabilidade do sistema proposto neste trabalho somente é válido para condições de uso em situações semelhantes às aquelas aqui apresentadas.

#### 3.1. TEMPO DE FRENAGEM

A metodologia escolhida para a estimativa do tempo de frenagem por quilômetro rodado foi baseada na análise de dados empíricos de uso de bicicleta em ambiente urbano obtidos pelo autor através do aplicativo de smartphone de rastreamento por GPS chamado *Strava*<sup>®</sup>. Este aplicativo é utilizado mundialmente por atletas de elite de diversos esportes e possui boa reputação em entregar dados confiáveis, sendo esta a razão para escolhido como fonte de dados para este trabalho.

Este aplicativo utiliza leituras do sensor de GPS integrado no smartphone para calcular diversos dados de interesse como distância percorrida, velocidade instantânea, altitude, potência, entre outros. Além disso, quando o ciclista percorre um trajeto sob a cobertura da rede de telefonia celular ou redes wi-fi, as leituras de localização são aprimoradas por meio da tecnologia chamada *Assisted-GPS* ou A-GPS (HORECNY, V., 2015) através da triangulação dos sinais recebidos de antenas de localização conhecida. Todos os trajetos utilizados neste trabalho foram obtidos em ambientes urbanos ou próximos de cidades, sempre dentro da área de cobertura da rede.

Inicialmente estimou-se que seria necessário cruzar os dados de altitude e velocidade para encontrar o tempo médio de frenagem por quilômetro requerido, conforme a metodologia explicada a seguir. Desta maneira, torna-se importante o conhecimento acerca da acurácia das

medições extraídas do aplicativo utilizado. Ambas variáveis de interesse são obtidas através de leituras de GPS, as quais atualmente possuem precisão semelhante a dispositivos de recreação de marcas como Garmin® e Magellan® (MERRY, K., BITTINGER, P., 2019). As leituras de altitude realizadas pelo aplicativo *Strava*® obtidas em cada trajeto são sempre cruzadas com um banco de dados alimentado por leituras de outros ciclistas que passaram pelos mesmos trechos utilizando o aplicativo (STRAVA, 2016). Assim, como todos os trajetos presentes neste trabalho foram obtidos em trechos intensamente percorridos por usuários do aplicativo, torna-se desprezível o erro de altitude para os cálculos realizados.

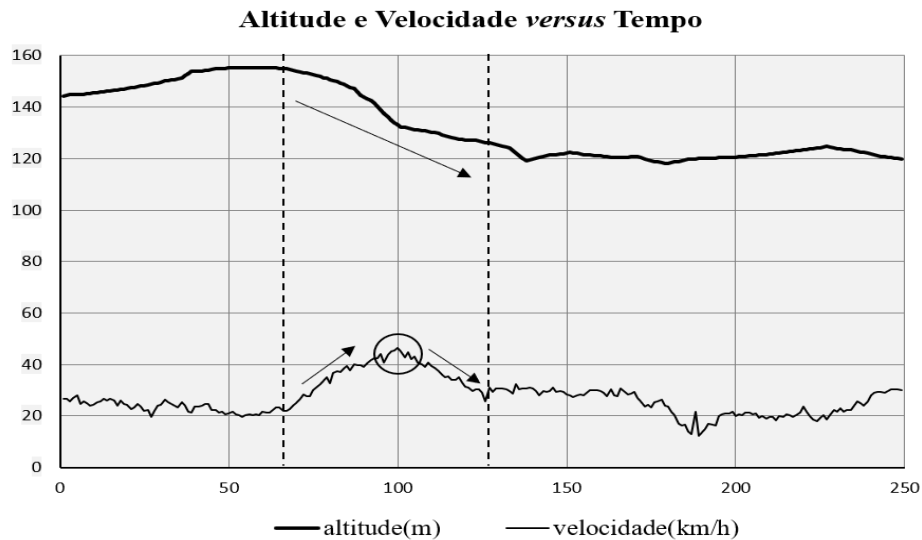
Já a leitura de velocidade instantânea realizada não conta com otimização de um banco de dados e depende inteiramente da precisão do sensor de GPS. Pesquisas realizadas com automóveis sugerem que o erro de leitura de velocidade para dispositivos comuns de geolocalização é inferior à 1 km/h (0,27 m/s) quando não submetido a variações bruscas (ALGAADI, K. A, 2005) & (KESKIN, M., AKKAMIS, M., SEKERLI, Y. E., 2018). Para dispositivos semelhantes testados em bicicletas, os valores de erro são inferiores à 0,2 m/s (WITTE, T., WILSON, A., 2005). Portanto, baseado nos dados acima, para fins deste trabalho optou-se pelo valor intermediário de 0,22 m/s de erro médio nas leituras de velocidade.

### 3.2. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Com o intuito de encontrar quanto tempo o dínamo seria acionado, buscou uma metodologia para encontrar esta variável a partir de dados facilmente acessíveis. A partir da observação dos dados de altitude e velocidade plotados em um gráfico de dispersão, pode-se inferir que toda vez que o ciclista estava percorrendo um trecho descendente (altitude diminuindo), a velocidade aumentava (aceleração positiva) até um momento onde ela invertia o sinal (aceleração negativa) – momento em que ocorria uma frenagem. O Gráfico 1 a seguir ilustra este conceito.

Para contabilizar todas as vezes que o ciclista atingia estas condições, foi feito um script no software open-source *Octave* (vide ANEXO A) para somar e armazenar cada tempo parcial de frenagem em todos os trajetos utilizados. No total, foram contabilizados 26 trajetos realizados em ambiente urbano de rodovias majoritariamente pavimentadas, variando de 3000 a 12000 pontos amostrados em cada. O funcionamento do script encontra-se detalhado na Figura 5 no fluxograma na página 16.

Gráfico 1 - Gráfico de dispersão de Altitude e Velocidade



Fonte: Autor

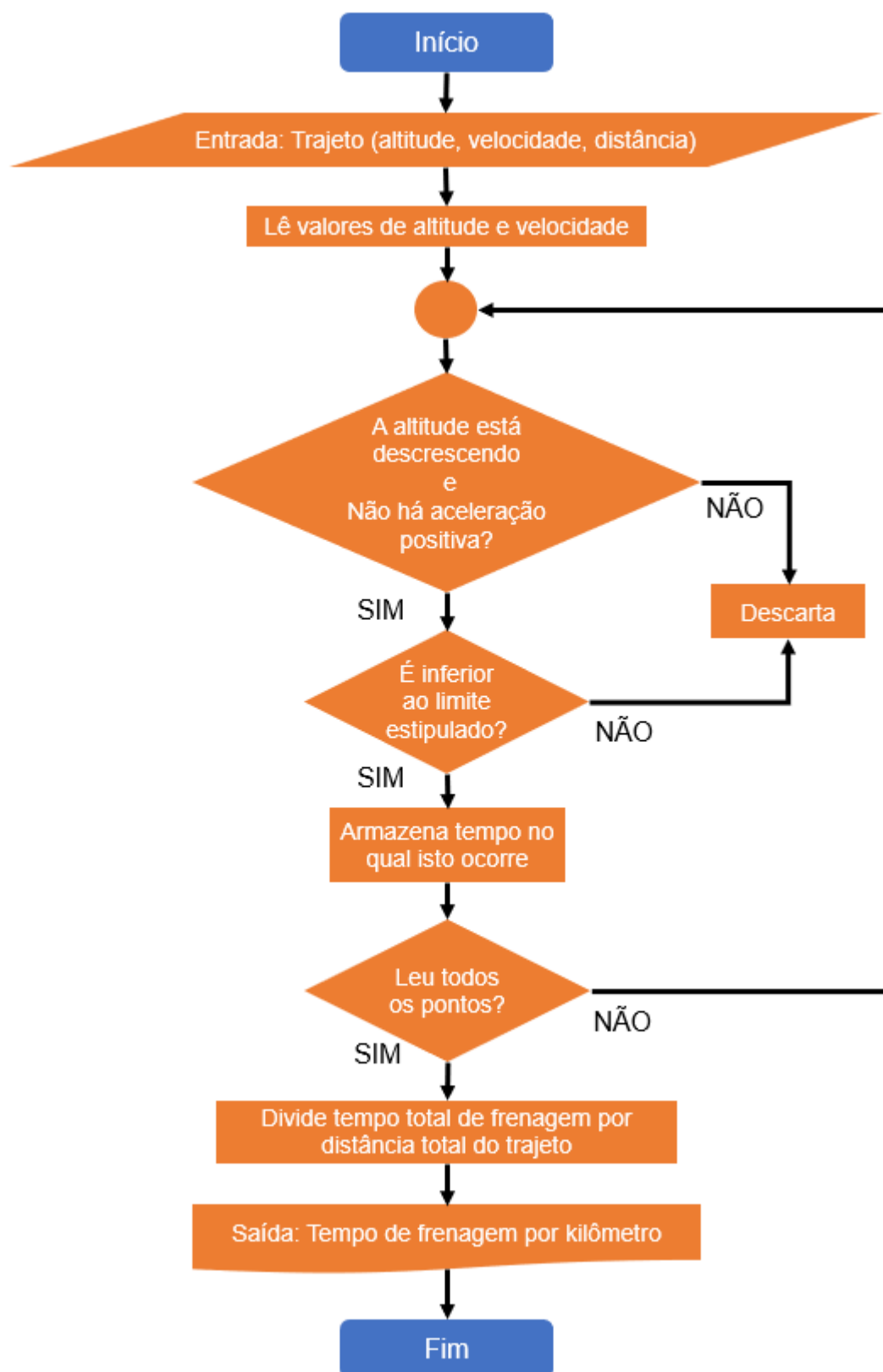
Deve-se atentar que nem toda situação em que o ciclista está em uma descida e sua aceleração passa por um ponto de inflexão de positiva para negativa é oriunda de uma frenagem voluntária. Ao entrar em movimento, o conjunto ciclista-bicicleta sofre com perdas aerodinâmicas, perdas por resistência de rolagem, perdas pela rotação da roda, perdas por fricção nos rolamentos e perdas por mudanças em energia potencial e cinética (MARTIN, J. C., MILLIKEN, D. L, COBB, J. E., et al, 1998). Portanto, deve-se achar um limite mínimo em que estas perdas sejam ultrapassadas para que se possa inferir que a desaceleração provém de fato de uma frenagem.

Os resultados do estudo de (MARTIN, J. C., MILLIKEN, D. L, COBB, J. E., et al, 1998) mostraram que para situações de descidas em que o ciclista não está pedalando ou freando, as perdas aerodinâmicas representam de 93% a 96% do total de perdas. Desta maneira, optou-se por estimar a desaceleração aerodinâmica pelo ciclista que gerou os dados utilizados neste trabalho. Felizmente, no estudo mencionado acima, os ciclistas possuíam um biotipo semelhante àquele deste trabalho e utilizou-se o mesmo coeficiente de arrasto  $C_D$  e área frontal  $A$  para o cálculo conforme as equações a seguir:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V^2 \quad (6)$$

$$a = \frac{F_D}{m} \quad (7)$$

Figura 5 - Fluxograma do funcionamento do método para cálculo do tempo de frenagem



Fonte: Autor

Onde na Equação (6)  $\rho$  representa a densidade do ar no nível do mar,  $C_D$  coeficiente de arrasto,  $A$  área frontal,  $V$  a velocidade aerodinâmica e na equação (7)  $a$  representa a aceleração negativa e  $m$  a massa do conjunto ciclista-bicicleta. Utilizou-se os seguintes valores:  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_D = 0,99$ ,  $A = 0,2591 \text{ m}^2$ ,  $V = 5,5 \text{ m/s}$  e  $m = 75 \text{ kg}$ . Para fins de clareza, a área frontal considerada é igual a projeção da sombra do conjunto ciclista-bicicleta, como pode ser visto na Figura 6 abaixo. Assim, obteve-se o valor de desaceleração proveniente de perdas aerodinâmicas de  $-0.0645 \text{ m/s}^2$ .

Figura 6 - Área frontal  $A$  do conjunto ciclista-bicicleta



Fonte: <https://ui-ex.com/image/vector-back-cyclist/1852809.html>

Para o uso no script, somou-se as perdas mencionadas acima com o erro de leitura de velocidade do GPS para estabelecer o limite mínimo de desaceleração estipulado em  $-0,2845 \text{ m/s}^2$ .

### 3.3. METODOLOGIA DE TESTE DO DÍNAMO

Após realizar os cálculos para encontrar o tempo de frenagem, escolheu-se um gerador síncrono comercial para bicicletas, também conhecido como dínamo, para estudar a viabilidade do sistema como um todo. O dispositivo utilizado pode ser visualizado na Figura 7 abaixo. Poucas informações a respeito do funcionamento deste aparelho foram encontradas, sendo

apresentadas na Tabela 1 abaixo as informações presentes em sua carcaça referentes às duas saídas de potência do dispositivo.

Figura 7 - Dínamo por atrito no pneu



Fonte: Autor

Tabela 1 - Dados disponíveis sobre o dínamo

Tensão (V)	Potência Ativa (W)
12.5V	5.5W
2.5V	0.5W

Fonte: Autor

### 3.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO DÍNAMO

De modo a conhecer melhor o funcionamento do dínamo, desmontou-se o dispositivo e verificou-se que este possuía duas saídas (*taps*) conforme especificado. Isto pode ser visto na Figura 8 a seguir. A primeira saída fecha utiliza os seis enrolamentos presentes e é utilizada para acionamento da lâmpada frontal para iluminação da rodovia. Já o segundo tap utiliza apenas um enrolamento e é utilizado para luzes de sinalização traseira. Para ambos os circuitos, o terminal comum é a própria carcaça do dispositivo.

Nota-se também que este dínamo possui um rotor com ímã permanente de seis polos. Assim, pode-se afirmar que para cada revolução do eixo principal do aparelho, irão ocorrer seis pulsos de tensão e corrente em ambas saídas. Aqui fica evidente que a velocidade angular do eixo influencia diretamente no valor da tensão da saída pois, ao aumentar a velocidade, aumenta variação do campo magnético sobre cada enrolamento conforme pode ser visto na Equação (4) mencionada anteriormente.

Figura 8 - Dínamo desmontado com duas saídas de potência



Fonte: Autor

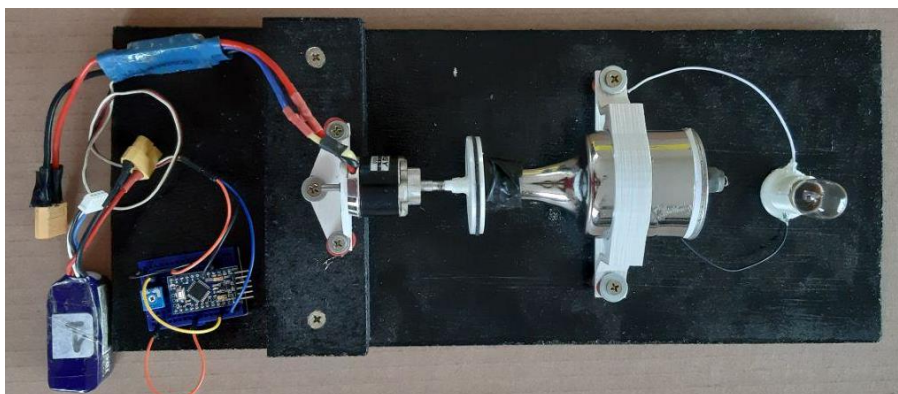
### 3.5. BANCADA PARA ENSAIOS ELÉTRICOS

Desta maneira, buscou-se ensaiar este gerador de modo a obter suas características elétricas e tornou-se necessária a criação de uma bancada de testes para a realização destes experimentos. Esta bancada pode ser visualizada na Figura 9 a seguir.

Seguindo a metodologia convencional de ensaio de geradores elétricos, utilizou-se uma topologia na qual um motor elétrico do tipo *Brushless* controlado por um microcontrolador *Arduino Mini Pro* estava acoplado ao gerador síncrono, que estava conectado a uma carga resistiva (a própria lâmpada incandescente original para ser usada no dínamo – 12V/6W). Suas leituras de saída monitoradas por um multímetro e um *Arduino Uno* acoplado a um conversor analógico-digital de 16 bits ADS1115 concomitantemente. Este conversor foi utilizado para aumentar a resolução da leitura analógica realizada e também permitir a leitura de tensões negativas em relação ao terminal comum do circuito. Na configuração utilizada para o ensaio, este conversor confere a resolução de 0,18 mV/bit e permite a leitura de valores de até  $\pm 4,7$  V. A topologia do ensaio pode ser vista na figura a seguir e os componentes da bancada de testes na tabela abaixo.

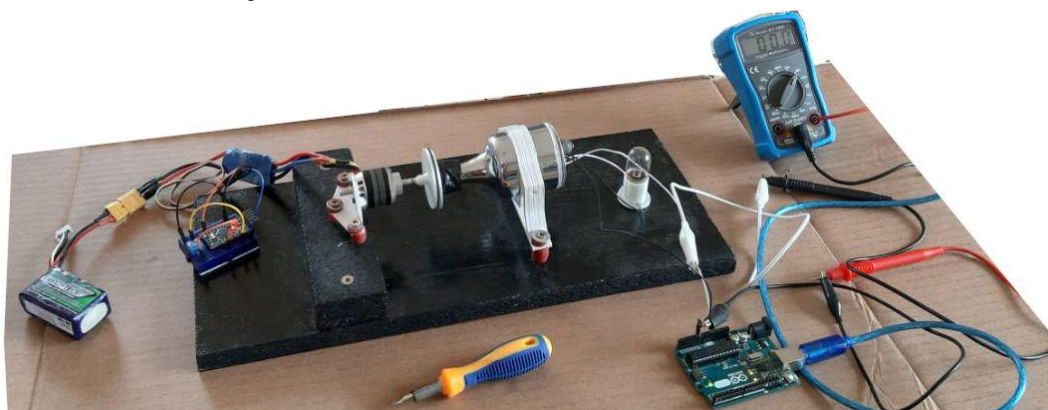


Figura 9 – Bancada para ensaio do dínamo



Fonte: Autor

Figura 10 - Instrumentação do ensaio realizado



Fonte: Autor

Tabela 2 - Componentes da bancada de testes

Componente	Modelo
Motor Brushless	Turnigy® Aerodriver SK2826
Controlador de Velocidade Eletrônico (ESC)	Hobby King® 30A UBEC
Microcontrolador	Arduino® Mini-Pro
Bateria	Turnigy® Nano-Tech 850mAh 11.1V
Gerador Síncrono	Dínamo 6 Pólos 12V 5,5W
Carga Resistiva	Lâmpada Incandescente 12V 6W
Multímetro	Minipa® ET-1005
Microcontrolador com conversor Analógico-Digital de 16 bits	Arduino® Uno com ADS1115

Fonte: Autor

A construção desta bancada de testes foi feita majoritariamente através do uso de manufatura aditiva por meio de impressão 3D. Os montantes do motor e gerador, assim como o mecanismo de transferência de potência (acoplamento) foram impressos em plástico do tipo PLA. Por motivos de segurança, o mecanismo de acoplamento não era fixo e permitia fácil desacoplamento em caso de curto-circuito, sobrecarga do motor ou falha mecânica de algum componente.

### 3.6. ESTIMAÇÃO DE VELOCIDADE DE ROTAÇÃO

Para descobrir a velocidade mínima de rotação do eixo do dínamo para obtenção da tensão e potências especificadas, utilizou-se as dimensões físicas da bicicleta e do dínamo, bem como a velocidade média de um ciclista em meio urbano.

Como este dispositivo funciona por atrito no pneu da bicicleta, calculou-se a razão de rotação do rotor do dínamo em relação à roda. As dimensões são especificadas na Tabela 3 abaixo. Aqui não foi considerado nenhum deslizamento entre as partes pois o atrito estático entre elas é suficiente para garantir esta condição. Para o valor do diâmetro da roda, somou-se o valor conhecido do aro (622 mm) à metade da espessura de um pneu convencional (50 mm) pois este é o ponto onde ocorre o contato. Assim, pode-se afirmar que para cada revolução da roda, o rotor do dínamo irá girar 30,5 vezes.

Tabela 3 - Razão de conversão de rotação do pneu para dínamo

<b>Componente</b>	<b>Medição (mm)</b>
Pneu da Bicicleta Aro 29"	672
Rotor do Dínamo	22
<b>Razão de Conversão</b>	<b>30,5 : 1</b>

Fonte: Autor

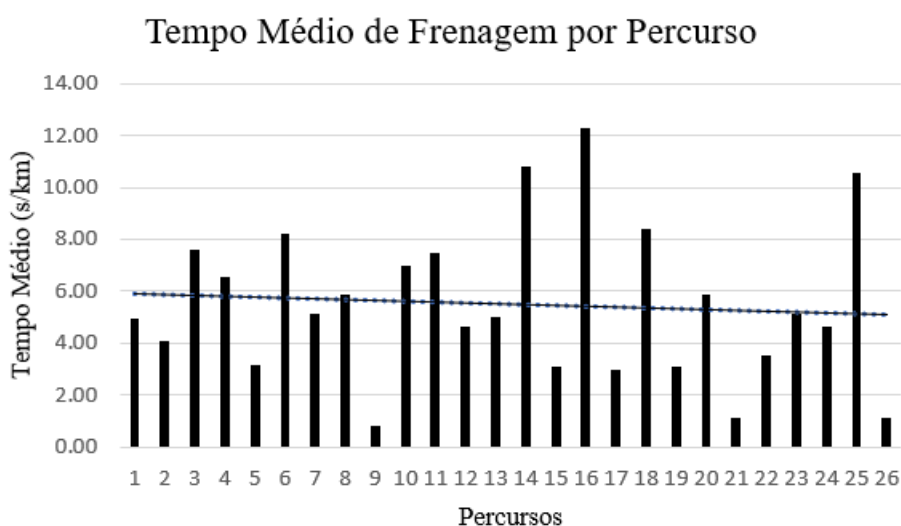
Sabe-se que o dínamo foi projetado para entregar potência e tensão nominais quando utilizado na velocidade média de um ciclista em trajetos urbanos cujo valor é de 3,6 m/s (XU, C., LI, Q., QU, Z., TAO, P. 2015). Sabendo que a circunferência da parte mais externa do pneu em uma bicicleta aro 29" é de 2,27 m, pode-se concluir que a velocidade de rotação da roda quando deslocando na velocidade média mencionada é 96 RPM e velocidade do rotor do dínamo é 2928 RPM.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 RESULTADOS DA ANÁLISE DO TEMPO DE FRENAGEM

Após a análise de 26 trajetos urbanos considerando somente frenagens de acordo com o limite estipulado na seção anterior, chegou-se ao valor médio de 5,5 segundos de frenagem por quilômetro rodado (s/km), vide Gráfico 2. Este valor é bem coerente considerando que o ciclista evita esta perda de energia a qualquer custo. Em relação ao tempo total em movimento, esta taxa de frenagem representa apenas 0,21%.

Gráfico 2 - Tempo médio de frenagem por percurso



Fonte: Autor

Ao analisar o Gráfico 2, pode-se perceber que existe uma grande variância nos dados calculados (variância = 8,77). No entanto, para não restringir muito o número de trajetos utilizados, optou-se por utilizar a média global calculada que representa um valor um pouco inferior caso fossem removidos os trajetos outliers de número 9, 16, 21 e 26. Desta maneira, também se obtém uma estimativa mais pessimista que resulta em um resultado mais robusto relativo à capacidade de geração de energia do sistema.

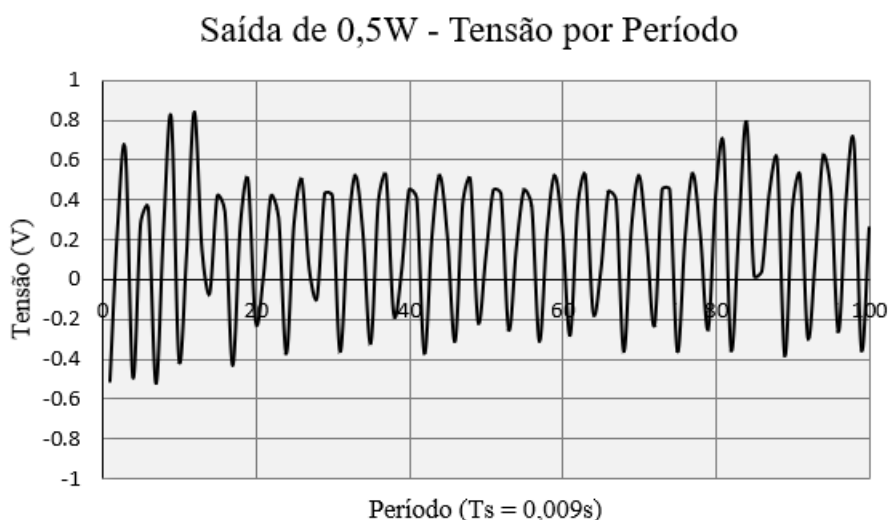
Também foi possível identificar que os trajetos que representam um tempo de frenagem maior foram aqueles em que o percurso apresentou maior desnível. Isto é algo evidente levando em consideração que trajetos que possuem mais descidas irão gerar maiores tempos de frenagem. Aqui já pode-se verificar que o sistema proposto provavelmente não é viável para trajetos realizados em ambientes planos.

## 4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DO GERADOR

O ensaio do gerador foi realizado utilizando o motor *brushless* controlado por um microcontrolador através de um potenciômetro. O controle de velocidade foi feito manualmente com base na leitura de tensão de saída através do multímetro, de modo a não se aproximar da tensão máxima de leitura do Arduino e ADS1115 cujo valor é 4,7 V. Os dados coletados são mostrados no gráfico abaixo e foram comparados com a leitura em paralelo do multímetro.

Durante o experimento, o multímetro estava configurado para a leitura de tensão AC RMS. O Gráfico 3 é referente à saída de 2,5V/0,5W do dínamo originalmente projetada para uso em luzes de sinalização traseira e o Gráfico 4 refere-se à saída principal 12V/5,5W utilizada para o farol frontal.

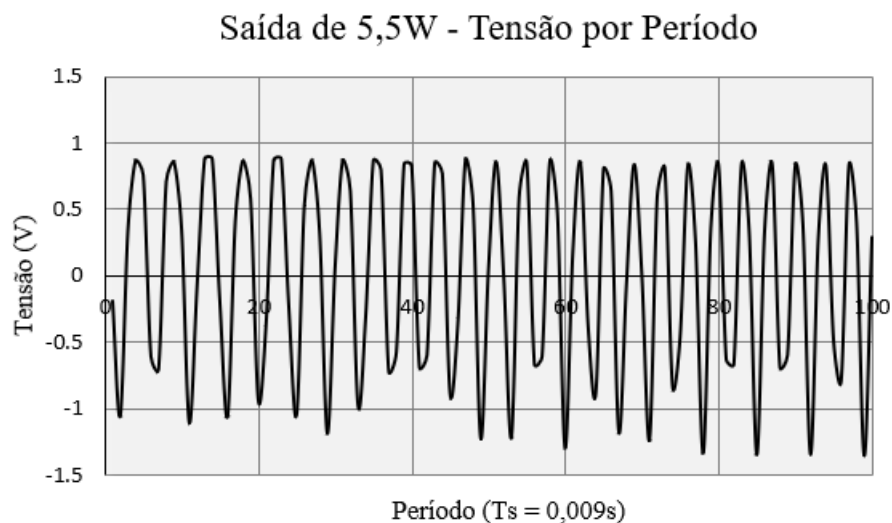
Gráfico 3 - Tensão por Período para Tap de 0,5 W



Fonte: Autor

A frequência de amostragem utilizada é de aproximadamente 111 Hz ( $T_s = 0,009$  segundos). Este é o maior valor permitido para a topologia adotada e satisfaz a condição de Nyquist sendo aproximadamente 3,7 maior que o sinal amostrado. Para a saída de 0,5W, pode-se perceber que a frequência do sinal de saída na rotação do ensaio foi de 35 Hz e a tensão RMS foi de  $V_{RMS} = 0,4$  V – isto a uma velocidade equivalente de 1,56 km/h.

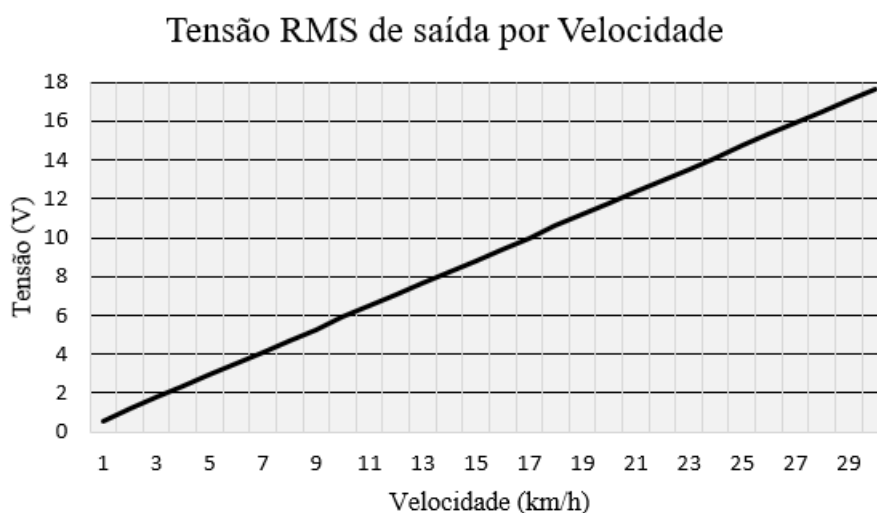
Gráfico 4 - Tensão por Período para Tap de 5,5 W



Fonte: Autor

Já para a saída de 5,5 W, obteve  $V_{RMS} = 0,8$  V para as mesmas condições de frequência e velocidade. Estes ensaios provam o funcionamento do dínamo como uma máquina síncrona que gera uma tensão de saída alternada cuja frequência varia conforme a velocidade do rotor. Assim, a partir da frequência e tensões medidas durante o ensaio, estipulou-se as tensões de saída no terminal de 5,5 W para velocidades de 0 a 30 km/h conforme pode ser visto no Gráfico 5 abaixo.

Gráfico 5 - Tensão RMS no tap de 5,5 W por velocidade



Fonte: Autor

Uma vez conhecidas as características elétricas do dínamo, pode-se analisar sua capacidade de carga através da potência de saída conhecida. A análise de carga é importante pois mostra quanto este sistema seria capaz de fornecer a sistema com bateria utilizado em sinalização de bicicletas.

A medida utilizada para mensurar a capacidade de carga de uma bateria para pequenos dispositivos elétricos é mAh (miliampere hora). Como sabe-se a informação de potência de saída do dínamo (Tabela 1 - 5,5W), analisou-se primeiramente a energia fornecida em Ws (watt segundo), equivalente a Joule (J). Em seguida, converteu-se para Wh (watt hora) e por fim para mAh. Estes dados foram cruzados com a informação obtida sobre o tempo de frenagem que diz que o dínamo funcionaria por 5,5 segundos a cada quilômetro percorrido. Assim, montou-se a tabela abaixo da carga de saída em função da distância percorrida. Para o cálculo da carga em miliampère-hora, utilizou-se um valor de tensão nominal de bateria de 5V.

Tabela 4 - Capacidade de fornecimento de carga do sistema

<b>Distância (km)</b>	<b>Carga (Ws)</b>	<b>Carga (Wh)</b>	<b>Carga (mAh)</b>
5	151	0,04	11,4
10	303	0,08	22,7
15	454	0,13	34,1
20	605	0,17	45,4
25	756	0,21	56,8
30	908	0,25	68,1

Fonte: Autor

Os dados mencionados acima não levam em consideração as perdas que ocorrem durante o processo de retificação de tensão. Uma topologia de conversão de baixo custo proposta anteriormente envolve o uso de uma ponte retificadora a diodos conectada em série a um conversor buck-boost, ambos dispositivos que possuem perdas significativas durante seu funcionamento. O retificador a diodos possui uma eficiência máxima de 81,3% sem considerar perdas resistivas (VISIONICS). O modelo de conversor buck-boost proposto é o LM2577 (NATIONAL SEMICONDUCTOR) cuja eficiência máxima é de 80% de acordo com o fabricante. Assim, de toda a energia gerada pelo dínamo, apenas 65% dela é útil e pode ser utilizada para iluminação. A tabela abaixo mostra os valores de carga por quilômetro rodado levando em consideração as perdas dos conversores.

Tabela 5 - Capacidade de fornecimento de carga do sistema levando em consideração as perdas nos dispositivos retificadores

<b>Distância (km)</b>	<b>Carga (Ws)</b>	<b>Carga (Wh)</b>	<b>Carga (mAh)</b>
5	98	0,03	7,4
10	196	0,05	14,7
15	294	0,18	22,1
20	392	0,11	29,4
25	490	0,14	36,8
30	588	0,16	44,2

Fonte: Autor

### 4.3 PRODUTOS POSSÍVEIS

Com as cargas possíveis de serem obtidas com o sistema deste trabalho, a iluminação frontal de bicicletas não seria possível pois LEDs de alto brilho costumeiramente utilizados para este fim necessitam de, no mínimo, 1 W constantemente para operar (CYCLETORCH).

Uma aplicação viável seria para o uso em LEDs convencionais para sinalização que, quando utilizados em bicicletas, costumam operar de maneira intermitente. LEDs convencionais funcionam com 20 mA e possuem uma queda de tensão de 0,7 V (MULTICOMP). Se o circuito periférico de alimentação e controle for bem projetado, pode-se obter bons resultados.

O principal melhoramento que talvez torne viável o uso deste sistema para iluminação frontal seria a troca do gerador síncrono utilizado. Sabe-se que geradores de ímãs permanentes possuem limitada capacidade de geração de energia e neste caso, não conseguem fornecer o melhor aproveitamento da energia capturada durante a frenagem. Sistemas de frenagem regenerativa de carros elétricos, aparelhos que inspiraram este trabalho, conseguem converter com grande eficiência a energia de frenagem em energia elétrica útil, economizando de 10% a 20% de energia (WOODFORD, C. 2018).

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho analisou a possibilidade de implementação de um sistema de frenagem regenerativa adaptável a qualquer bicicleta e de baixo custo. Esta análise se deu a partir do estudo do tempo médio de frenagem de um ciclista em trajetos urbanos, bem como a partir de ensaios práticos de um gerador síncrono de ímãs permanentes. Assim, os dados de ambas análises foram cruzados e interpretados de modo a concluir que apenas sistemas de sinalização intermitente com LEDs de baixas potências seriam possíveis de serem alimentados pelo sistema proposto no trabalho, deixando de lado a iluminação frontal que requer potências maiores do que as fornecidas para funcionar.

Durante a realização deste trabalho, pode-se utilizar diversas maneiras práticas de coletar dados reais e convertê-los em informações úteis que permitiram esta análise de viabilidade. Os principais desafios relativos ao cálculo do tempo de frenagem foram o entendimento do erro envolvido no uso de medidas a partir de GPS e como desenvolver uma metodologia para estimação da variável desejada apenas com dados fornecidos pelo aplicativo do smartphone. Já para a bancada de testes, o projeto dos montantes do motor, bem como seu acoplamento foi algo de difícil implementação e que funcionou somente após várias iterações.

Por fim, deixa-se como sugestão de trabalhos futuros a análise e projeto de um gerador que possa ser utilizado em frenagem regenerativa de bicicletas que consiga converter com maior eficiência a energia cinética em energia elétrica, bem como o estudo de conversores de baixa potência com maiores eficiências do que aqueles aqui apresentados. O ramo de estudo de veículos elétricos e energias renováveis oferece uma grande gama para desenvolvimento de novas tecnologias e sempre apresentará possibilidades para a criação de produtos mais sustentáveis e de melhor qualidade.



## REFERÊNCIAS

PIRES, Ailton. B, **Relatório Comparativo 2003 – 2014**. Sistema de Informações de Mobilidade Urbana,.Associação Nacional de Transportes Públicos (ATNP). Julho, 2016

ABRACICLO, **Indústria de Bicicletas inicia 2018 com aumento de 49.8% na produção**. Acessado em <http://abraciclo.com.br/2018/1149-industria-de-bicicletas-inicia-2018-com-aumento-de-49-8-na-producao>. Dados da ABRACICLO – Associação Brasileira de de Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares.

GARCIA, Leila Posenato; FREITAS, Lúcia Rolim Santana de; DUARTE, Elisabeth Carmen. **Mortalidade de ciclistas no Brasil: características e tendências no período 2000 - 2010**. Rev. bras. epidemiol., São Paulo , v. 16, n. 4, p. 918-929, Dec. 2013. Acessado em 14 Out. 2018. ([http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-790X2013000400918&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-790X2013000400918&lng=en&nrm=iso)).

J.C.O. Madsen, T. Andersen, H.S. Lahrman, **Safety effects of permanent running lights for bicycles: A controlled experiment**, Accident Analysis & Prevention, Volume 50, 2013, Pages 820-829, ISSN 0001-4575, Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457512002606>

CARD, Peter W. (2007). **Early Cycle Lighting 1868-1948: Identification and Value Guide**. Crowood. ISBN 978-1-86126-964-5.

PELZ, Bradley, FEIEREISEN, Jeffrey . **Bicycle Powered Generator for the University Farm**. May, 2010. Washington University at St. Louis.

STRZELECKI, R., JARNUT, M., BENYSEK, G. **Exercise Bike Generator for Fitness Club Appliances**. Gdynia Maritime University, Poland. October, 2007.

CHAPMAN, Stephen J., **Electric Machinery Fundamentals**. 5ta Edição. Ed. McGraw-Hill, 2012.

HORECNY, V. **Can we trust A-GPS to deliver accurate location on a smartphone device?** School of Computing Sciences, University of Derby, 2014-2015.

STRAVA. **Elevation for Your Activity.** Strava Support, 2012. Disponível em <https://support.strava.com/hc/en-us/articles/216919447-Elevation-for-Your-Activity>

STRAVA. **Strava's Elevation Basemap.** Strava Support, 2016 Disponível em <https://support.strava.com/hc/en-us/articles/115000024864-Announcing-Strava-s-Elevation-Basemap>

MERRY, K., BETTINGER, P. **Smartphone GPS Accuracy Study in an Urban Environment.** US National Library of Medicine, National Institutes of Health. Publicado online em 18 de Julho de 2019. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6638960/>

SUPEJ, M., CUK, I. **Comparison of Global Navigation Satellite System Devices on Speed Tracking in Road (Trans)SPORT Applications.** US National Library of Medicine, National Institutes of Health. MDPI, Basel, Suíça, 2014.

AL-GAADI, K. A., **Testing the Accuracy of Autonomous GPS in Ground Speed Measurement.** Journal of Applied Sciences, 5:1518-1522, 2005.

KESKIN, M., AKKAMIS, M., SEKERLI, Y. E. **An Overview of GNSS and GPS based Velocity Measurement in Comparison to Other Techniques.** International Congress on Energy Research. 31 October – 2 November, Alanya, Turquia, 2018.

WITTE, T., WILSON, Alan. **Accuracy of Non-Differential GPS for the Determination of Speed over Ground.** Journal of biomechanics. 37. 1891-8. 10.1016, 2005.

MARTIN, J. C., MILLIKEN, D. L., COBB, J. E., MCFADDEN, K. L., COGGAN, A. R., **Validation of Mathematical Model for Road Cycling Power.** Journal of Applied Biomechanics. Human Kinetic Publishers, Inc, 1998.

XU, C., LI, Q., QU, Z., TAO, P. **Modelling of Speed Distribution for Mixed Bicycle Traffic Flow**. Sage Journals, Advances in Mechanical Engineering. Novembro, 2015

VISIONICS. **Full wave Rectifier**. Disponível em

<http://www.visionics.a.se/html/curriculum/Experiments/FW%20Rectifier/Full%20Wave%20Rectifier1.html>

NATIONAL SEMICONDUCTORS. **LM2577 datasheet**.1999. Disponível em

<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8676/NSC/LM2577.html>

MULTICOMP. **LED 10mm datasheet**. Disponível em

<http://www.farnell.com/datasheets/1776830.pdf>

CYCLETORCH. **Night Owl 200 user manual**. Disponível em

[https://cycletorch.com/media/ecommerce\\_manual.file/en-CA/1.1\\_EN\\_Night%20Owl%20200\\_User%20Manual\\_microbot.pdf](https://cycletorch.com/media/ecommerce_manual.file/en-CA/1.1_EN_Night%20Owl%20200_User%20Manual_microbot.pdf)

WOODFORD, C. **Regenerative Brakes**. Explain that Stuff, 7 de Julho de 2018. Disponível em <https://www.explainthatstuff.com/how-regenerative-brakes-work.html>

## ANEXO A – SCRIPT PARA ESTIMAÇÃO DE TEMPO MÉDIO DE FRENAGEM

```
%Script para encontrar tempo medio de frenagem por km
%para modelagem de sistema de recuperacao de energia
%Versão Final - Junho 2019 - Projeto Integrador
%Fabio Ugalde Pereira
%%-----
%%Resultado demonstra tempo de frenagem por km -- segundos/kilometro
%%-----

close all
clear
clc
%%-----
%%Importação de todos trajetos
names = ['Afternoon_Ride (1).csv';
        'Afternoon_Ride (2).csv';
        'Afternoon_Ride (3).csv';
        'Afternoon_Ride (4).csv';
        'Afternoon_Ride (5).csv';
        'Afternoon_Ride.csv';
        'Evening_Ride (1).csv';
        'Evening_Ride (2).csv';
        'Evening_Ride (3).csv';
        'Evening_Ride (4).csv';
        'Evening_Ride.csv';
        'Lunch_Ride (1).csv';
        'Lunch_Ride.csv';
        'Morning_Ride (1).csv';
        'Morning_Ride (2).csv';
        'Morning_Ride.csv';
        'Pains_com_barro.csv';
        'Passeio_Vespertino_Picada_Cafe.csv';
        'Quick_ride.csv';
        'Radar_via_Arroio_Grande.csv';
        'Silveira_Martins (1).csv';
        'Silveira_Martins.csv';
        'Trevo_287_Silveira_via_Arroio_Grande.csv';
        'Trevo_Palmas_Val_Feltrina.csv';
        'Trilha_de_Canudos.csv';
        'Val_Feltrina.csv'];

%%Funcao principal
%%mean_t refere-se ao resultado buscado (razão seg/km)
%%ratio refere-se ao percentual do tempo total do trajeto que se passou
freando
function[mean_t, ratio] = tempofrenagem(location);

%inicialização de variáveis auxiliares
x      = 0.0;    %armazena toda a leitura do arquivo csv
d_vel  = 0.0;    %armazena derivada de velocidade
d_alt  = 0.0;    %armazena derivada de altitude
alt    = 0.0;    %armazena altitude abasoluta

%Lê cada arquivo e armazena em X
x = csvread(location);

%%-----
%%Converte velocidade de km/h para m/s
for i = 1 : rows(x)-1
```

```

    x(i, 3) = x(i, 3)/3.6;
endfor

%%-----
%Acha as derivadas de altitude de todo o trajeto
%Representa velocidade vertical
for i = 1 : rows(x)-1
    alt(i, 1) = x(i+1, 2) - x(i, 2);
endfor

%Pega somente as derivadas negativas (descidas)
j = 1;
for i = 1 : rows(x)-1
    if(alt(i, 1) < 0)                %quando derivada for negativa
        d_alt(j, 1) = alt(i, 1);    %armazena d_alt
        d_alt(j, 2) = x(i, 1);      %armazena tempo
        j = j + 1;
    elseif(alt(i, 1) >= 0)           %quando derivada for positiva
        d_alt(j, 1) = 0.0;           %d_alt = 0
        d_alt(j, 2) = i;             %armazena tempo
        j = j + 1;
    endif
endfor

%%-----
%Pegar as inflexoes de velocidade
%Achar derivadas de velocidade
for i = 1 : rows(x)-2
    %Se a derivada_vel atual for positiva e a posterior negativa
    %Ou se a deriv_vel atual for negativa e a posterior negativa
    %Então armazena o valor
    %Senão, descarta
    if((x(i+2, 3) - x(i+1, 3)) < 0) && (x(i+1, 3) - x(i, 3) > 0))
    else
        d_vel(i, 1) = x(i, 1);      %armazena tempo onde isso ocorre
    endif
endfor

%calcula todas d_alt para tempos coincidentes com d_vel acima
for i = 1 : rows(d_vel)-1
    if(d_alt(i, 2) == d_vel(i, 1))
        brake(i, 1) = d_alt(i, 1); %armazena todos tempos coincidentes
    endif
endfor

%Soma e armazena apenas valores significativos
%para achar tempo total de frenagem
j = 1;
brake(1, 2) = 0.0;
for i = 1 : rows(brake)-1
    if(brake(i, 1) != 0)
        brake(1, 2) = brake(1, 2) + brake(i, 1);
        j = j + 1;
    endif
endfor

avg_brake = brake(1, 2)/j;

%%-----
%%-----

```

```

%%Pega somente as derivadas menores que o limite estipulado
j = 1;
for i = 1 : rows(d_alt)-1
    if(d_alt(i, 1) < -0.2846)          %% < erro do gps + arrasto aerodinamico
        u(j, 1) = d_alt(i, 1);
        j = j + 1;

    endif
endfor

%%-----
%%-----
%%Pega deslocamento total integrando velocidades
dist = 0.0;
for i = 1 : rows(x)-1
    dist = dist + x(i, 3);
endfor
dist = dist/1000;                    %%transforma distancia de m para km

%%-----
[NN, XX] = hist(u, 11);

%total de segundos passados freando durante o trajeto
total = 0;
for i = 1 : columns(NN)-1
    total = total + NN(1, i);
endfor

%%-----
%%calcula tempo medio de frenagem por km
mean_t = total/dist;
ratio = mean_t*100/rows(x);

endfunction

%%-----
%%-----MAIN-----
%%-----
result = 0.0;
for i = 1 : rows(names)
    [result_parcial(i, 1), result_parcial(i, 2)] = tempofrenagem(names(i, :));
    result = result + result_parcial(i, 1);
endfor

%%resultado final
result = result/rows(names);

%%-----FIM-----

```