

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

*Hybrid Energy Collector (HEC): sustentabilidade e Microgrid*

VICTOR SCHUMACHER

VINICIUS DE OLIVEIRA LOPES

São Paulo - SP

2021

# Faculdade de Tecnologia de São Paulo

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

VICTOR SCHUMACHER

VINICIUS DE OLIVEIRA LOPES

## ***Hybrid Energy Collector (HEC): sustentabilidade e Microgrid***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial da Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Aparecido Sirley Nicolett

São Paulo - SP

2021

## Ficha Catalográfica

Schumacher, Victor e Lopes, Vinicius

HYBRID ENERGY COLLECTOR (HEC):  
SUSTENTABILIDADE E MICROGRID / Victor  
Schumacher, Vinicius Lopes – 2021.

80 f.

Monografia – Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica  
Industrial – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2021.

Orientador(a): Prof. Dr. Aparecido Sirley Nicolett

1. *Microgrid* 2. Energia renovável 3. Fotovoltaico 4. Piezelétrico  
5. Sustentabilidade



## DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso primeiramente a Deus, por nos ter capacitado apesar das inúmeras dificuldades enfrentadas, as futuras gerações, que possam desfrutar de um mundo mais saudável e sustentável, e a Terra como um todo, sendo nossa eterna moradia.

## *Agradecimentos*

Agradecemos primeiramente a Deus, por sempre fazer-nos acreditar que tudo na vida tem um propósito e que tudo está determinado a acontecer, nos capacitando e dando forças para nunca desistirmos. Agradecemos também a todos nossos familiares mais próximos e professores que nos apoiaram durante toda nossa jornada acadêmica, nos motivando a cada dia para a conclusão do curso.

EPÍGRAFE

*“A poluição, a ganância e a estupidez são as maiores ameaças ao planeta.”*

Stephen Hawking (1942-2018)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento da célula piezoelétrica .....	Pág. 24
Figura 2 – Funcionamento da célula solar .....	Pág. 27
Figura 3 – Circuito equivalente da célula solar.....	Pág. 28
Figura 4 – Exemplo de <i>Microgrid</i> .....	Pág. 30
Figura 5 – Representação de um multiplexador .....	Pág. 30
Figura 6 – Pinagem do multiplexador analógico CD4067 .....	Pág. 31
Figura 7 – Representação do circuito <i>clock</i> através do CI 555 .....	Pág. 33
Figura 8 – Sinal de saída do circuito astável com o uso do CI 555 .....	Pág. 33
Figura 9 – Esquema elétrico do CI 74LS90N .....	Pág. 37
Figura 10 – Esquema lógico do CI 74LS90N .....	Pág. 37
Figura 11 – Ceifador série polarizado .....	Pág. 39
Figura 12 – Forma de onda obtida através do circuito ceifador em paralelo .....	Pág. 39
Figura 13 – Representação do circuito regulador de tensão .....	Pág. 40
Figura 14 – Pinagem dos circuitos integrados das séries 78XX e 79XX. ....	Pág. 40
Figura 15 – Representação do produto HEC .....	Pág. 42
Figura 16 – Diagrama de blocos do projeto desenvolvido .....	Pág. 43
Figura 17 – Apresentação de uma bicicleta com um suporte traseiro .....	Pág. 43
Figura 18 – Circuito montado em <i>protoboard</i> .....	Pág. 44
Figura 19 – Esquema elétrico do circuito montado em <i>protoboard</i> .....	Pág. 45
Figura 20 – Circuito montado em placa universal .....	Pág. 46
Figura 21 – Representação da montagem das células fotovoltaicas .....	Pág. 47
Figura 22 – Células fotovoltaicas para a instalação no HEC .....	Pág. 47
Figura 23 – Esquema elétrico dos meios de captação das células fotovoltaicas .....	Pág. 48

Figura 24 – Células fotovoltaicas em período de testes .....	Pág. 48
Figura 25 – Representação dos pontos de instalação dos sensores piezoelétricos ..	Pág. 49
Figura 26 – Representação da montagem das pastilhas piezoelétricas .....	Pág. 50
Figura 27 – Pastilhas piezoelétricas adquiridas para montagem no HEC.....	Pág. 50
Figura 28 – Voltímetro captando sinal gerado pela pastilha piezoelétrica .....	Pág. 51
Figura 29 – Dínamo adquirido para instalação no HEC .....	Pág. 52
Figura 30 – Representação da instalação do dínamo na bicicleta .....	Pág. 52
Figura 31 – Esquema elétrico do circuito retificador.....	Pág. 53
Figura 32 – Montagem dos circuitos retificadores em placa .....	Pág. 54
Figura 33 – Circuito gerador de pulsos pelo <i>software</i> PROTEUS ISIS .....	Pág. 58
Figura 34 – Circuito gerador de pulsos já em placa .....	Pág. 59
Figura 35 – Forma de onda pelo circuito gerador de pulsos .....	Pág. 59
Figura 36 – Montagem do contador síncrono integrado através do CI 74LS90N....	Pág. 60
Figura 37 – CI CD4067 montado através do <i>software</i> PROTEUS ISIS .....	Pág. 61
Figura 38 – CI CD4067 montado em placa .....	Pág. 61
Figura 39 – Circuito ceifador de tensão através do PROTEUS ISIS .....	Pág. 62
Figura 40 – Circuito regulador de tensão através PROTEUS ISIS .....	Pág. 63
Figura 41 – Circuito regulador de tensão em placa universal .....	Pág. 64
Figura 42 – <i>Hybrid Energy Collector</i> (HEC) instalado em <i>protoboard</i> .....	Pág. 65
Figura 43 – <i>Hybrid Energy Collector</i> (HEC) instalado em placa universal.....	Pág. 65
Figura 44 – Material para isolamento e proteção .....	Pág. 66
Figura 45 – Caixa de acrílico utilizada no projeto .....	Pág. 66
Figura 46 – Células fotovoltaicas instaladas no HEC .....	Pág. 67
Figura 47 – Entrada de fontes de tensão alternada .....	Pág. 67
Figura 48 – Entradas de fontes contínuas e saída 5 Vdc .....	Pág. 68

Figura 49 – Chave de duas posições .....	Pág. 68
Figura 50 – <i>Hybrid Energy Collector</i> (HEC) .....	Pág. 69
Figura 51 – Instalação do dínamo na bicicleta .....	Pág. 69
Figura 52 – Instalação das pastilhas piezoelétricas na bicicleta .....	Pág. 70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela verdade do multiplexador.....	Pág. 32
Tabela 2 – Tabela verdade do circuito <i>flip-flop-D</i> .....	Pág. 36
Tabela 3 – Modos de seleção do CI 74LS90N .....	Pág. 38
Tabela 4 – Família dos reguladores 78XX e 79XX .....	Pág. 41
Tabela 5 – Lista de materiais utilizados para montagem em <i>protoboard</i> .....	Pág. 44
Tabela 6 – Lista de materiais utilizados para montagem em placa universal .....	Pág. 45
Tabela 7 – Apresentação dos resultados práticos obtidos no HEC .....	Pág. 70

## LISTA DE ABREVIATURAS

CLK: *Clock*

XOR: Porta Lógica Exclusivo OR

NOT: Porta Lógica Inversora

CI: Circuito integrado

MUX: Multiplexador

AC1: Entrada de tensão alternada 1

AC2: Entrada de tensão alternada 2

DC1: Entrada de tensão contínua 1

DC2: Entrada de tensão contínua 2

OUT: Saída

Vdc: Tensão contínua

Vac: Tensão alternada

Vrms: Tensão eficaz (*Root Mean Square*)

## LISTA DE SIGLAS

FATEC-SP: Faculdade de Tecnologia de São Paulo

HEC: Coletor de Energia Híbrida (*Hybrid Energy Collector*)

BEN: Balanço Energético Nacional

OIE: Oferta Interna de Energia

EH: Captação de Energia (*Energy Harvesting*)

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CMOS: *Complementary metal-oxide-semiconductor*

SYC: *Semicondutores Y Componentes*

USB: *Universal Serial Bus*

LCD: *Liquid Crystal Display*

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Omega$ : Símbolo de resistência elétrica (Ohm)

$\mu$ : Micro ( $10^{-6}$ )

n: Nano ( $10^{-9}$ )

$E_m$ : Energia mecânica

$E_c$ : Energia cinética

$E_p$ : Energia potencial

$m$ : Massa

$v$ : velocidade

$E_{cin}$ : Energia cinética

J: Joule

s: Segundo

kg: Kilograma

$h$ : Altura

$g$ : Constante de gravitação universal

$E_{pg}$ : Energia potencial gravitacional

m: Metros

$R_p$ : Resistência em paralelo (Ohm)

$R_s$ : Resistência em série (Ohm)

I: Corrente (Ampère)

D: Diodo

$I_{ph}$ : Corrente de curto-circuito da célula (Ampère)

$t_1$ : Fração do período em nível lógico alto

$t_2$ : Fração do período em nível lógico baixo

T: Período

C1: Capacitor 1

R1: Resistor 1

R2: Resistor 2

$f$ : Frequência

F: Farad, unidade de capacitância

mm: Milímetros

Wh: Watt-hora

mAh: Miliampère-hora

V: Volts

## RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um dispositivo de baixo custo, capaz de colher diferentes formas de energias sustentáveis através de células solares, dínamo e pastilhas piezoelétricas, e integrá-las em uma única saída, propondo o incentivo e busca pela utilização de energias renováveis. Para a integração, foi projetado um circuito multiplexador de tecnologia CMOS, em conjunto de circuitos reguladores, ceifadores e retificadores, no qual consiga interpretar todos os sinais como um único sinal em sua saída, disponibilizando um sinal constante para o usuário.

**Palavras-chave:** *Microgrid, Energy Harvesting, Piezelétrico, Fotovoltaico, Captação de energia.*

## ABSTRACT

In this project developed a low-safe device, capable of harvesting different forms of sustainable energies through solar cells, dynamo, and piezoelectric crystal and integrate them into a single output, proposing the incentive and search for the use of renewable energy. To allow an integration, a multiplexer circuit of CMOS technology was designed, set of regulator circuits, reapers and rectifiers, in which it can interpret all signals as a single signal at its output, providing a constant signal to the user.

**Keywords:** *Microgrid, Energy Harvesting, Piezoelectric, Photovoltaic, Energy capture.*

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	
<b>LISTA DE SÍGLAS</b> .....	
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	
<b>RESUMO</b> .....	
<b>ABSTRACT</b> .....	
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>Pág. 21</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>Pág. 22</b>
<b>1.2 Estrutura da dissertação</b> .....	<b>Pág. 22</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>Pág. 23</b>
<b>2.1 Definição de energia</b> .....	<b>Pág. 23</b>
<b>2.1.1 Conservação de energia</b> .....	<b>Pág. 23</b>
<b>2.1.2 Efeito piezoelétrico</b> .....	<b>Pág. 23</b>
<b>2.1.3 Energia mecânica</b> .....	<b>Pág. 25</b>
<b>2.1.3.1 Energia cinética</b> .....	<b>Pág. 25</b>
<b>2.1.3.2 Energia potencial gravitacional</b> .....	<b>Pág. 26</b>
<b>2.1.4 Efeito fotovoltaico</b> .....	<b>Pág. 27</b>

2.2	<i>Microgrids</i>	Pág. 29
2.3	<b>Multiplexador</b>	Pág. 30
2.3.1	<b>Multiplexador analógico</b>	Pág. 31
2.4	<b>Gerador de pulsos</b>	Pág. 32
2.5	<b>Contador síncrono</b>	Pág. 35
2.5.1	<i>Flip-flop D</i>	Pág. 36
2.5.2	<b>Contador síncrono integrado</b>	Pág. 37
2.6	<b>Circuito ceifador de tensão</b>	Pág. 38
2.7	<b>Regulador de tensão</b>	Pág. 39
3.	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	Pág. 42
3.1	<b>Fontes geradores de energia</b>	Pág. 46
3.1.1	<b>Células fotovoltaicas</b>	Pág. 46
3.1.2	<b>Sensores piezoelétricos</b>	Pág. 49
3.1.3	<b>Dínamo</b>	Pág. 51
3.2	<b>Retificação</b>	Pág. 53
3.3	<b>Circuito de controle</b>	Pág. 57
3.3.1	<b>Implementação do circuito gerador de pulsos</b>	Pág. 57
3.3.2	<b>Implementação do contador síncrono integrado</b>	Pág. 60
3.4	<b>Implementação do multiplexador analógico</b>	Pág. 60
3.5	<b>Implementação do circuito ceifador de tensão</b>	Pág. 62

3.6	<b>Implementação do circuito regulador de tensão</b>	Pág. 62
4.	<b>RESULTADOS</b>	Pág. 65
5.	<b>CONCLUSÃO</b>	Pág. 72
6.	<b>FUTUROS PROJETOS</b>	Pág. 73
7.	<b>REFERÊNCIAS</b>	Pág. 74
8.	<b>ANEXOS</b>	Pág. 78

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2020, a matriz energética brasileira apresentou patamares renováveis considerados altos quando comparado ao resto do mundo. Analisando a repartição da Oferta Interna de Energia (OIE) pode-se observar que as fontes renováveis representam 48,4% e as fontes não renováveis representam 51,6%. O crescente desenvolvimento das áreas voltadas ao *Green Energy*, *Energy Harvesting* (EH) e com o aumento na utilização das fontes renováveis, possibilitará à sociedade desenvolver novas aplicações elétricas e eletrônicas para satisfazer, automatizar e solucionar trabalhos de reparo, gestões econômicas e interesses ligados a sustentabilidade (MARTÍNEZ, 2015).

Entretanto, mesmo com os avanços tecnológicos nas áreas de geração de energia, os últimos dados fornecidos pelo censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostram que a população sem acesso à energia ultrapassa dois milhões de brasileiros. As dificuldades de implementação de redes de distribuição de energia em certas regiões do país reforçam a necessidade de busca por tecnologias capazes de armazenar e fornecer energia elétrica aos consumidores, onde que, preferencialmente seja focado a utilização de fontes renováveis.

A frente destes dados, se viu a necessidade de aprofundamento nos estudos voltados as fontes de geração de energia autônoma. Estes sistemas são comumente formados por fontes de energia renováveis capazes de emitir tensões em formato contínuo ou de forma variável. Para operação, centrais de geração deverão ser direcionadas para sistemas de isolamento adequado, devido as divergências na emissão de cada potencial individualmente. Para solucionar este problema, pode-se construir um dispositivo utilizando a tecnologia de um *microgrid*. As *microgrids* são redes de distribuição de energia que utilizam uma ou mais fontes de geração local. Sua funcionalidade nos permite reduzir a emissão de poluentes utilizando fontes de energia não renováveis somente em momentos de necessidade energética, possibilitando a operação através de fontes renováveis ou não. Esta solução possibilita reunir diversas fontes de energia em só uma aplicação, proporcionando flexibilidade e eficiência em seu funcionamento.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho teve como objetivo projetar um coletor híbrido de energia, denominado *Hybrid Energy Collector* (HEC), com finalidade inicialmente educacional, capaz de converter diferentes formas de energia em energia elétrica, de modo otimizado, visando reduzir seu impacto ambiental e proporcionando uma maior difusão do uso de fontes de energias renováveis.

## 1.2 Estrutura da monografia

- Cap.1 Introdução: apresenta a problemática do problema a ser tratado no trabalho;
- Cap.2 Fundamentação Teórica: apresenta conceitos importantes para a compreensão e desenvolvimento do trabalho;
- Cap.3 Materiais e Métodos: apresenta o desenvolvimento do trabalho, com os circuitos implementados e montagens;
- Cap.4 Resultados: apresenta os valores obtidos do protótipo desenvolvido pelo grupo;
- Cap.5 Conclusão: apresenta as análises feitas sobre o trabalho desenvolvido com seus resultados.
- Cap.6 Futuros Projetos: apresenta futuras melhorias e implementações do protótipo;
- Cap.7 Bibliografia: apresenta as fontes dos conteúdos inseridos no trabalho;
- Cap.8 Anexos: apresenta *layouts* do protótipo via *Software* PROTEUS para a confecção em placa de circuito impresso.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos fundamentais visando o esclarecimento e uso das fontes de energias renováveis. Logo após, será apresentado a tecnologia *Microgrid*, focando em circuitos disponíveis para integração das fontes utilizadas.

### 2.1 Definição de energia

É comum encontrar entre os meios de estudo, a definição de energia como sendo “a capacidade de executar trabalho ou realizar ação” (Eletronuclear). Dentro deste conceito, também se pode encontrar algumas modalidades, como por exemplo: energia cinética, potencial, térmica, química, eólica, nuclear e elétrica, sendo estas consideradas as principais formas de energia.

#### 2.1.1 Conservação de energia

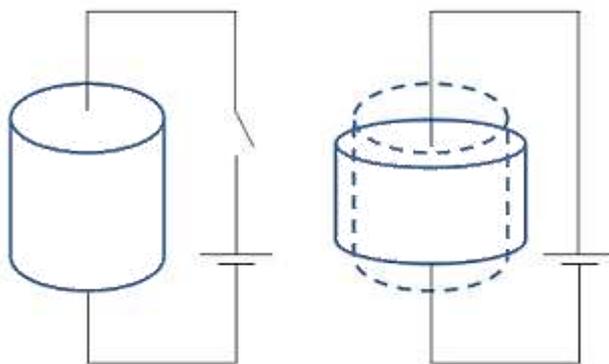
Lavoisier definiu que: “*Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma*” (ROYAN, s.d.). Em física, o princípio da conservação de energia define que, em um sistema isolado, a energia presente no mesmo é constante, quaisquer que sejam as transformações que venham a ocorrer, logo, a soma das massas dos reagentes é igual a soma das massas dos produtos.

#### 2.1.2 Efeito piezoelétrico

O efeito de piezoelectricidade consiste no fenômeno de geração de um potencial elétrico a partir de uma deformação mecânica de um cristal ou cerâmica piezoelétrica. Logo, são transdutores ultrassônicos que convertem energia mecânica em energia elétrica e vice-versa (GUIMARÃES, 2017).

Piezoelasticidade é uma alternativa de energia limpa e ambientalmente correta que tem por significado gerar eletricidade por pressão. Assim ao aplicar uma força em um material piezoelétrico, ele se deforma e acaba gerando um diferencial de potencial elétrico. Ao obter esta energia, um efeito contrário pode ser ocasionado se aplicar um potencial elétrico, contra a superfície do material, ocasionando expansão ou retração de volume, que resultará em uma onda mecânica que será propagado pelo meio na qual está inserida (CANCIO & GHISSONI, 2020).

Figura 1: funcionamento da célula piezoelétrica.



Fonte: Engenheiro de materiais, 2016.

Através da figura 1 pode-se observar um circuito simples para representação do funcionamento de uma célula piezoelétrica. Quando o corpo piezoelétrico é pressionado é gerado uma diferença de potencial em sua saída, no caso, representado pelo fechamento da chave completando o circuito para funcionamento da fonte em questão.

Uma das possíveis combinações químicas para se obter um material piezoelétrico é a partir do composto cerâmico de Titanato de Bário ( $\text{BaTiO}_3$ ). Este composto possui uma estrutura cristalina do tipo perovskita ( $\text{ABO}_3$ ), na forma pura ele se encontra na composição  $\text{BaTiO}_3$ .

O material piezoelétrico, ao ser exposto a vibrações ou forças mecânicas, produzirá uma variação de potencial em sua saída, logo, um potencial elétrico variado no tempo. Atualmente, estes dispositivos se apresentam em diversas aplicações como, por exemplo: no registro de batimentos cardíacos, ultrassons, microfones, medidores de pressão e entre outros. No mercado já é possível encontrar empresas especializadas em captação de

energia através de células piezoelétricas, promovendo o incentivo pela sustentabilidade nas cidades e a utilização de energias renováveis.

### 2.1.3 Energia mecânica

A energia mecânica pode ser definida pela capacidade de um corpo realizar trabalho (PLANAS, Oriol). Entretanto, esta energia pode ser dividida em duas modalidades, sendo elas: energia cinética e energia potencial. Logo, a energia mecânica total de um sistema é representada pela soma da energia cinética com a energia potencial, conforme apresentado na equação (1).

$$E_m = E_c + E_p \quad (1)$$

Sendo:

- $E_m$  = Energia mecânica (J);
- $E_c$  = Energia cinética (J);
- $E_p$  = Energia potencial (J).

#### 2.1.3.1 Energia cinética

A energia é definida por um conceito abstrato, entretanto, é possível encontrar definições com certa harmonia. A energia cinética pode ser definida como aquela “associada ao estado de movimento de um objeto” (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Já para Tipler e Mosca, os autores definem energia cinética relacionada ao movimento (TIPLER e MOSCA, 2009). Os mesmos também relacionam força e energia cinética dizendo que, “quando forças realizam trabalho sobre uma partícula, o resultado

é uma variação da energia associada ao movimento da partícula – a energia cinética” (TIPLER e MOSCA, 2009).

Logo, esta forma de energia está relacionada a massa e a velocidade de um certo objeto ou corpo. A mesma também pode ser expressa pela equação (2).

$$E_{cin} = \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

Sendo:

- $E_{cin}$  = Energia cinética (J);
- $v$  = Velocidade (m/s);
- $m$  = massa (kg).

### 2.1.3.2 Energia potencial gravitacional

A energia potencial gravitacional está relacionada a forças de origem da atração gravitacional da terra (TILER e MOSCA, 2009). A mesma também pode ser expressa pela equação abaixo (3).

$$E_{pg} = mgh \quad (3)$$

Sendo:

- $E_{pg}$  = Energia potencial gravitacional (J);
- $m$  = Massa (kg);
- $h$  = Altura (m).
- $g$  = Constante de gravitação universal  $\left(9,82 \frac{m}{s^2}\right)$

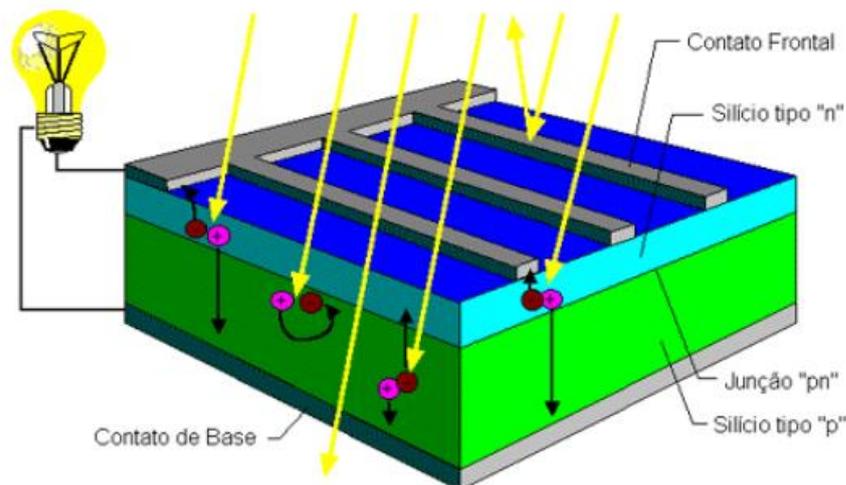
### 2.1.4 Efeito fotovoltaico

A partir de iniciativas de pesquisa feitas por Alexandre Edmond Becquerel e com a criação da primeira célula fotovoltaica em 1883, por Charles Fritts, foi conquistado os primeiros passos da evolução da energia fotovoltaica em prol da busca por energia sustentáveis.

No relatório de Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, a fonte de energia solar apresentou um aumento de 70% do seu valor original na estrutura da matriz elétrica brasileira ao compararmos os anos de 2019 com 2020. Entretanto, mesmo com um crescimento representativo, a ausência de incentivo do governo e carência no acesso à informação transparece falta de acessibilidade para a implementação deste sistema, mesmo com algumas soluções já oferecidas por alguns bancos (PORTAL SOLAR, s.d.).

O efeito fotovoltaico consiste em gerar um potencial elétrico a partir da irradiação de luz na qual é absorvida por uma célula constituída de materiais semicondutores, gerando um fluxo de elétrons e criando, por sua vez, um potencial elétrico. Atualmente, a energia solar fotovoltaica é o sistema de autogeração mais acessível disponível no mercado, se apresentando como um equipamento de fácil instalação, com uma vida útil elevada e possibilitando a economia de até 95% da conta de luz. Veja na figura 2 a representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Figura 2: Funcionamento da célula solar.



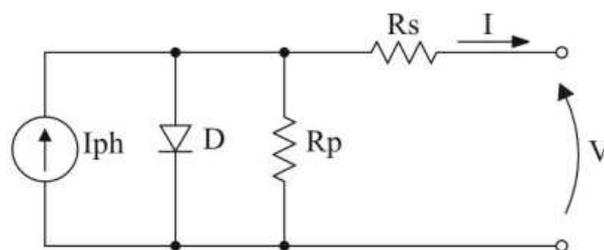
Fonte: Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2008.

Com a incidência de luz, pares elétron-lacunas são criadas pelo processo de foto geração. Quanto maior a incidência, maior é a taxa de geração, entretanto, existe um limite máximo quando a célula atinge o ponto de saturação.

Estes dispositivos possuem o poder de captação de energia luminosa ao longo do dia. O ângulo de exposição entre o sol e a célula, além da temperatura, são fatores consideráveis para o estudo do método de obtenção de energia solar.

Para fins de compreensão e testes, as células fotovoltaicas são comumente representadas por um circuito eletronicamente equivalente. Neste circuito, é utilizado uma fonte de corrente em paralelo com um diodo e, considerando aplicações ideais, são utilizadas resistências em série e paralelo, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3: Circuito equivalente da célula solar.



Fonte: CASARO & MARTINS.

Este circuito é composto por:

- Uma fonte de corrente ( $I_{ph}$ ): representa a corrente de curto-circuito da célula, fornecida pela fonte, sendo proporcional à intensidade luminosa;
- Um diodo em paralelo ( $D$ ): representando a corrente na junção PN;
- Uma resistência em série ( $R_s$ ): representando as perdas por contato e condução;
- Uma resistência em paralelo ( $R_p$ ): representando as perdas devido às correntes de fuga.

No mercado, seus potenciais energéticos variam de acordo com o dimensionamento da célula fotovoltaica. Para obtenção de maiores valores de tensão e corrente, as mesmas

podem ser instaladas no formato série ou paralelo, respectivamente, no qual seus potenciais poderão ser somados de acordo com o objetivo da aplicação.

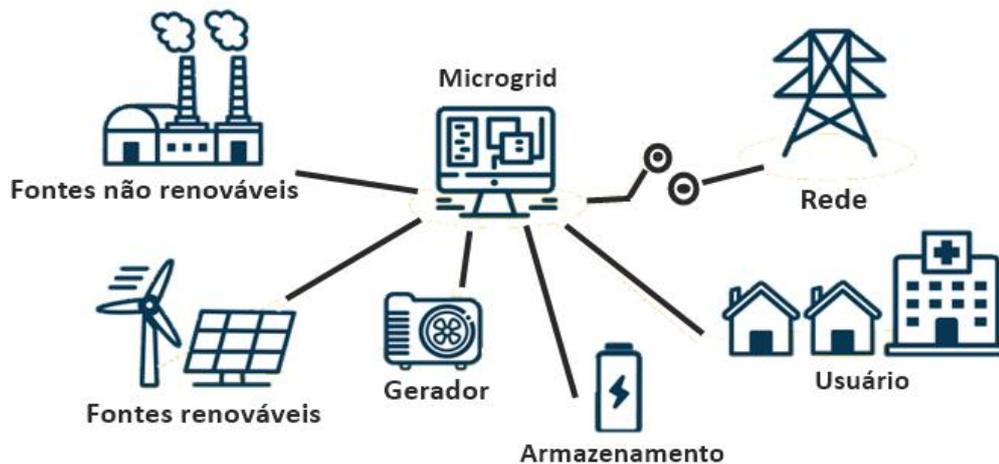
## 2.2 Microgrids

As *Microgrids* são basicamente redes de distribuição de energia que utilizam como alimentação uma ou mais fontes de geração, sendo elas independentes da rede principal de distribuição e locais. Através desta tecnologia, é possível administrarmos toda a captação de eletricidade juntamente com *softwares* que auxiliam na coordenação do fornecimento das fontes que serão distribuídas. Este controle é importante para que não haja variações na tensão fornecida, como também, quedas de energia (SIEMENS, s.d.).

Diante disto, pode-se conectar coletores de energia solar, energia eólica, energia mecânica ou até mesmo hidroelétricas de pequeno porte a um único sistema, proporcionando benefícios na utilização de fontes renováveis, como a redução dos impactos ambientais, autonomia energética e o desenvolvimento sustentável, além de garantir um fornecimento de qualidade ao usuário final.

Entre essas vantagens, a tecnologia presente nas *Microgrids* nos possibilita identificar qual o método de captação mais estável e utilizar fontes poluentes somente em casos de extrema necessidade, permitindo o trabalho de fontes renováveis e não renováveis em uma única só aplicação. A figura 4 apresenta um sistema com a utilização da proposta de um *Microgrid*.

Figura 4: Exemplo de *Microgrid*.



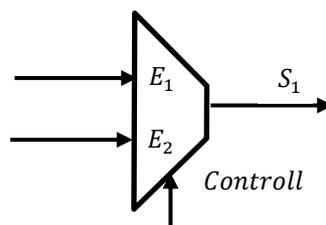
Fonte: NASEO.

As *Microgrids* também se apresentam como uma solução para integrar uma variedade de fontes de energias, sendo elas renováveis ou não.

### 2.3 Multiplexador

O MUX ou multiplexador, é um dispositivo eletrônico que seleciona um sinal de entrada para que o mesmo esteja presente em sua saída, podendo este ser um sinal em formato analógico ou digital.

Figura 5: Representação de um multiplexador.



Fonte: Próprio autor.

Sendo:

- $E_1$  = Entrada 1;
- $E_2$  = Entrada 2;

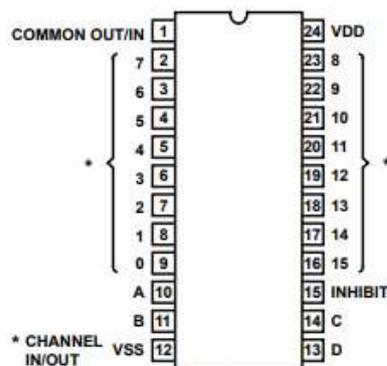
- $S_1 =$  Saída;
- *Control* = variável de controle.

O multiplexador permite que diferentes sinais elétricos, presentes em suas entradas, sejam direcionadas para sua única saída. Conforme apresentado na figura 5, o MUX é constituído por um sistema de entrada, um sistema de saída e um circuito para controle. É importante ressaltar que, o MUX pode ter até  $2^N$  entradas, sendo  $N$  o número de sinais de controle que atuarão sobre o dispositivo.

### 2.3.1 Multiplex analógico

Neste projeto foi utilizado um multiplexador analógico do tipo CD4067, o qual permite a operação com até 16 entradas diferentes. A figura 6 apresenta as pinagens deste circuito integrado.

Figura 6: Pinagem do multiplexador analógico CD4067.



Fonte: *Datasheet* SYC.

Para selecionar uma das entradas, devem ser utilizadas as chaves A, B, C e D, presentes nas pinagens 10, 11, 14 e 13 do multiplexador, respectivamente, e conforme sua combinação binária da tabela 1, comutará sua saída  $S$ .

Tabela 1: Tabela verdade do multiplexador.

D	C	B	A	S
0	0	0	0	E0
0	0	0	1	E1
0	0	1	0	E2
0	0	1	1	E3
0	1	0	0	E4
0	1	0	1	E5
0	1	1	0	E6
0	1	1	1	E7
1	0	0	0	E8
1	0	0	1	E9
1	0	1	0	E10
1	0	1	1	E11
1	1	0	0	E12
1	1	0	1	E13
1	1	1	0	E14
1	1	1	1	E15

Fonte: Próprio autor.

Entre suas vantagens, o multiplexador analógico CD4067 oferece ao circuito:

- Ótimas respostas em altas frequências devido a tecnologia CMOS;
- Possibilidade de operar com uma tensão máxima de até 20 Vdc;
- Possibilidade de operar em aplicações analógicas e digitais como multiplexador;
- Pode atuar como conversor digital-analógico ou conversor analógico-digital;

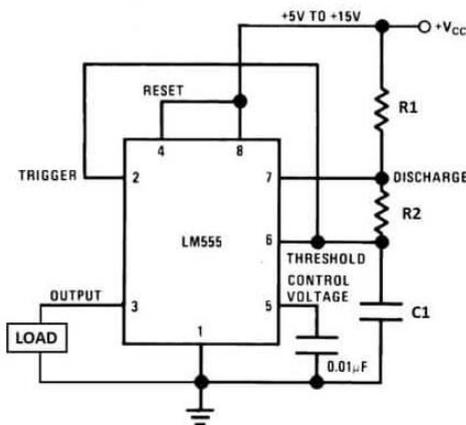
## 2.4 Gerador de pulsos

O gerador de pulsos é um circuito eletrônico capaz de gerar sinais elétricos em formas de onda, tipicamente usado como um gerador de onda quadrada, gerador de pulso ou gerador PWM. Entre suas principais aplicações encontramos o controle de intensidade

de luz, velocidade de motores, sinalizadores e entre outras possibilidades (ELETROGATE, 2020).

O circuito de um gerador de pulsos, ou gerador astável, pode ser montado com o uso de um circuito integrado LM555, conforme apresentado na figura 7.

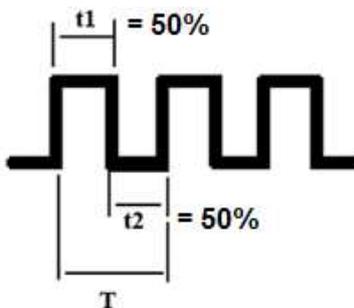
Figura 7: Representação do circuito *Clock* através do CI 555.



Fonte: Neves, Felipe (2016).

Através deste circuito, é possível controlar a frequência do sinal de saída gerado através da administração dos tempos, ou duração, de seu pulso. Este cálculo pode ser representado através do equacionamento (6). A figura 8 apresenta o sinal de saída obtido por meio do CI 555.

Figura 8: sinal de saída do circuito astável com o uso do CI 555.



Fonte: Próprio autor.

Sendo:

- $t_1$ : Fração do período em nível lógico alto;

- $t_2$ : Fração do período em nível lógico baixo;
- $T$ : Período ( $t_1 + t_2 = T$ );

Através da figura 9 apresentada anteriormente, podemos concluir que  $t_1$  representa, em segundos, o tempo na qual o sinal se apresentará em nível lógico alto. Este tempo pode ser calculado através da equação (4).

$$t_1 = 0,693 * (R_1 + R_2) * C_1 \quad (4)$$

Sendo:

- $C_1$  = Capacitor 1 (F);
- $R_1$  = Resistor 1 (Ohm);
- $R_2$  = Resistor 2 (Ohm).

Já  $t_2$  é responsável por representar o tempo em que o sinal de saída do CI 555 se apresentará em nível lógico baixo. Este tempo pode ser calculado através da equação (5).

$$t_2 = 0,693 * R_2 * C_1 \quad (5)$$

Logo, para se encontrar o período deste sinal, sendo este, representado por  $T$ , devemos somar ambos os tempos encontrados anteriormente, conforme apresentado em (6).

$$T = t_1 + t_2 \quad (6)$$

Por fim, para que seja calculado a frequência do sinal de saída, devemos utilizar o período encontrado em (6) e utilizá-lo em (7).

$$f = 1/T \quad (7)$$

De acordo com o instituto Newton C. Braga LTDA, a frequência de *clock* de um circuito gerador de pulsos montado através do uso do circuito integrado LM555 também pode ser calculada através do equacionamento (8).

$$f = \frac{1,44}{(R1 + 2 * R2) * C1} \quad (8)$$

Sendo:

- $f$  = Frequência (Hz);
- $R1$  = Resistor presente na posição 1 ( $\Omega$ );
- $R2$  = Resistor presente na posição 2 ( $\Omega$ );
- $C1$  = Capacitor 1 (F);

## 2.5 Contador síncrono

Os contadores digitais funcionam sob um comando de *clock*, de modo que em sua saída seja possível obter uma sequência pré-determinada. Estes circuitos são comumente utilizados em aplicações como contagens, geração de palavras, divisão de frequências e tempo.

O contador síncrono é um circuito digital, na qual é constituído por circuitos *flip-flops* em montagem paralela, logo, o sinal de *clock* deve estar conectado em todos os *flip-flops* do circuito. Na eletrônica, o multivibrador biestável, também conhecido como *flip-flop*, é um circuito classificado como digital, na qual é possível atuar como memória de um bit. Os *flip-flops* são comumente constituídos por um sinal de *clock*, um sinal de saída e em sua entrada podemos encontrar um ou dois sinais. Este contador é considerado o mais robusto devido otimizar os circuitos biestáveis e pode ser aplicado para gerar qualquer tipo de sequência binária, criando palavras e conseqüentemente códigos binários.

Para seu funcionamento, o contador síncrono receberá através de seus *flip-flops* o sinal gerado pelo *clock* de forma simultânea, sinal este formado por meio do gerador de pulsos.

### 2.5.1 Flip-flop D

A escolha por um *flip-flop* D se deu principalmente por sua básica função de armazenamento. Este modelo possui duas entradas e duas saídas, sendo elas representadas respectivamente por D, CLK (sinal de *clock*), Q e Q invertido. O *flip-flop* D é um circuito considerado como sequencial e depende dos valores de entradas e saídas da execução anterior. Portanto, este circuito é capaz de armazenar na saída Q o exato valor inserido na entrada D. Veja a tabela 2 para observar o funcionamento de um circuito flip-flop D através de sua tabela verdade.

Tabela 2: Tabela verdade do circuito *flip-flop* D.

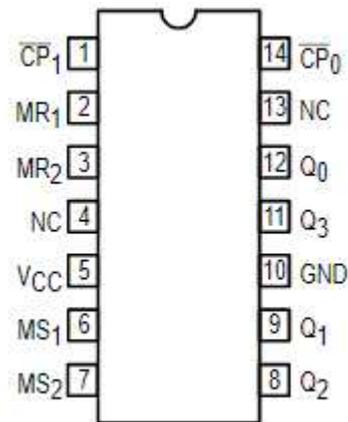
CLK	D	Q	$\bar{Q}$
0	0	Q	$\bar{Q}$
0	1	Q	$\bar{Q}$
1	0	0	1
1	1	1	0

Fonte: Próprio autor.

### 2.5.2 Contador síncrono integrado

Para o projeto foi utilizado o CI 74LS90N, sendo este um contador síncrono com seus circuitos lógicos já integrados. A pinagem deste circuito integrado pode ser observado através da figura 9.

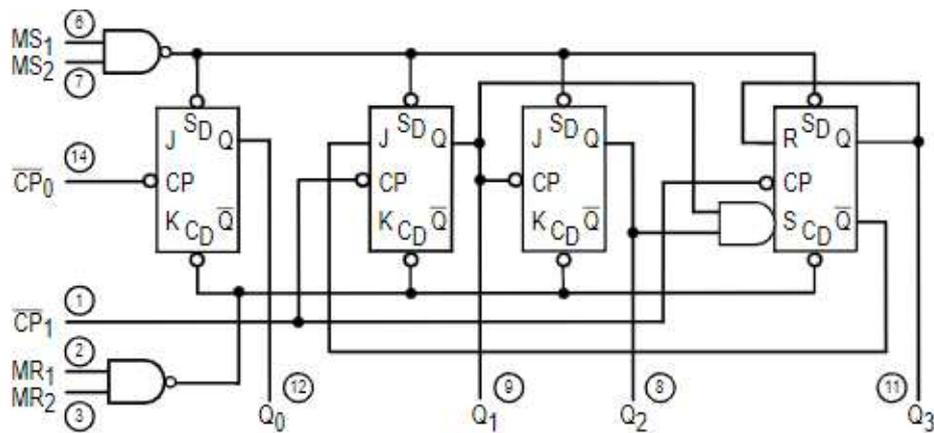
Figura 9: Esquema elétrico do CI 74LS90N.



Fonte: *Datasheet* Motorola.

Como informado anteriormente, este contador já possui em seu circuito os *flip-flops* em montagem paralela, veja o esquema lógico deste circuito através da figura 10.

Figura 10: Esquema lógico do CI 74LS90N.



Fonte: *Datasheet* Motorola.

Para seu funcionamento, o mesmo deverá ser alimentado por uma tensão de 5Vdc e pode suportar uma frequência máxima de operação de até 32MHz de acordo com a porta de entrada que será utilizada. A tabela 3 apresenta os modos de seleção do CI 74LS90N.

Tabela 3: Modos de seleção do CI 74LS90N.

RESET/SET INPUTS				OUTPUTS			
MR <sub>1</sub>	MR <sub>2</sub>	MS <sub>1</sub>	MS <sub>2</sub>	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
L	X	L	X		Count		
X	L	X	L		Count		
L	X	X	L		Count		
X	L	L	X		Count		

Fonte: *Datasheet* Motorola.

Sendo:

- H = *HIGH Voltage Level*;
- L = *LOW Voltage Level*;
- X = H ou L. Não interferirá na lógica.

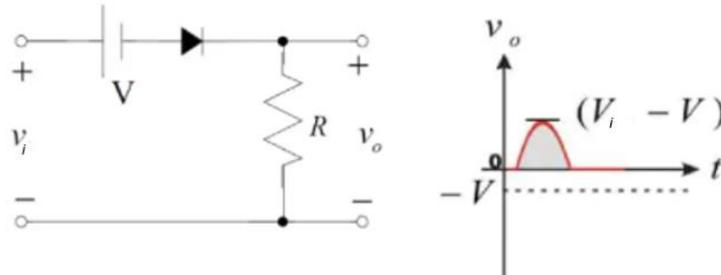
## 2.6 Circuito ceifador de tensão

Os circuitos ceifadores, também conhecidos como limitadores de tensão, seletores de amplitude ou cortadores, possuem a capacidade de limitar parte do sinal recebido em sua entrada quando se analisa sua saída. Os circuitos ceifadores comumente utilizam diodos, podendo ser diodos *Zener* ou convencionais, resistores e baterias. Os ceifadores de sinal eliminam parte de uma onda recebida em sua entrada e disponibiliza em sua saída somente o sinal que ocorre acima ou abaixo de um nível pré-determinado.

Os circuitos ceifadores podem ser classificados através de duas categorias, sendo elas, série e paralelo. Ao analisarmos a configuração série, podemos definir a mesma

como aquela que possui o diodo em série com a carga, enquanto a paralela tem o diodo em um ramo paralelo à carga. Veja através da figura 11 um circuito ceifador em montagem no formato série.

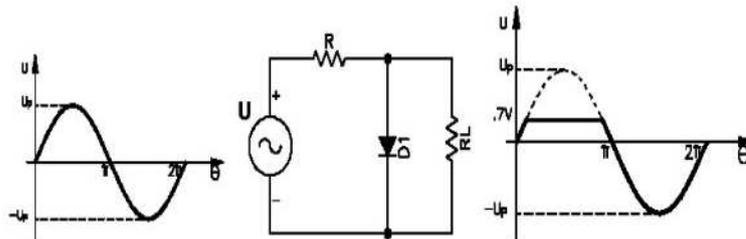
Figura 11: Ceifador série polarizado.



Fonte: SANTOS, Antônio.

Para compreender melhor o funcionamento deste exemplo de circuito ceifador, deve-se analisar a forma de onda que será obtida em sua saída. Veja através da figura 12 a onda obtida no circuito em questão.

Figura 12: Forma de onda obtida através do circuito ceifador em paralelo.



Fonte: SOUZA, Alan.

## 2.7 Regulador de tensão

O circuito regulador de tensão possui a capacidade de manter a tensão de saída constante ou estabilizada, mesmo havendo a presença de variações na tensão de entrada ou corrente de saída.

Figura 13: Representação do circuito regulador de tensão.

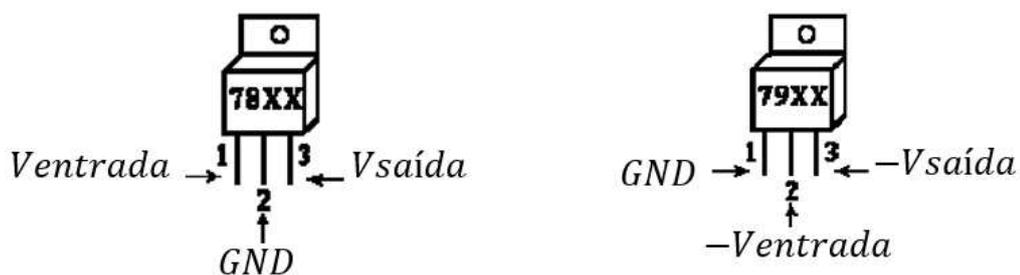


Fonte: Próprio autor.

Estes circuitos são comumente instalados através de componentes discretos ou por meio de circuitos integrados. Os circuitos reguladores de tensão instalados por meio de CI's costumam ser mais precisos e conseqüentemente mais compactos devido ao menor espaço ocupado pelo componente.

No mercado, podemos encontrar vários tipos de reguladores de tensão, entre eles, se destacam a família de circuitos integrados da série 78XX para potenciais positivos e a série 79XX para potenciais negativos. Observe na figura 14 as pinagens de cada modelo.

Figura 14: Pinagens dos circuitos integrados das séries 78XX e 79XX



Fonte: WENDLING, Marcelo (2009).

A tabela 4 apresenta a família dos reguladores 78XX e 79XX.

Tabela 4: Família de reguladores 78XX e 79XX.

Código		Tensão máxima a aplicar na entrada (E)	Tensão de saída (S) regulada	Corrente máxima na saída
Positivo	Negativo			
7805	7905	35V	5V	1A
7806	7906	35V	6V	1A
7810	7910	35V	10V	1A
7812	7912	35V	12V	1A
7815	7915	35V	15V	1A
7818	7918	35V	18V	1A
7824	7924	40V	24V	1A

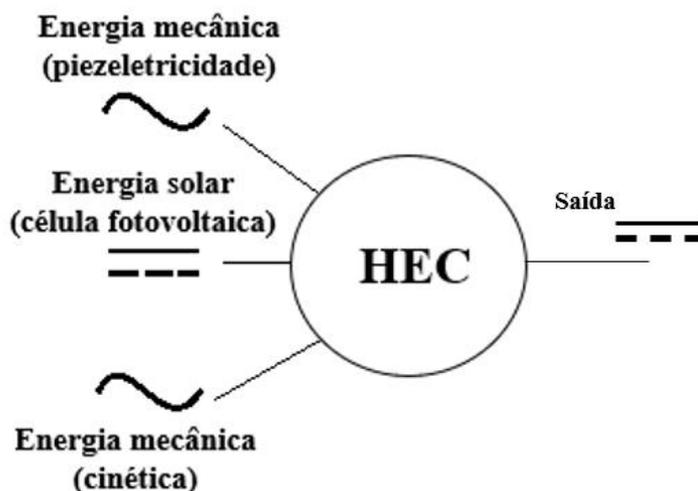
Fonte: Ferreira, João.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração deste projeto, deve-se considerar que não é possível integrar, de forma simultânea, as fontes energéticas captadas por meio dos dispositivos externos. Desta forma, foi necessário desenvolver um circuito capaz de comutar, em frequências relativamente altas, as saídas de cada fonte geradora, para que a carga as reconheçam como uma única fonte geradora de energia. Neste trabalho, o grupo optou por desenvolver um produto com aplicações para baixas potências. No mercado existem circuitos que integram diferentes fontes geradas para aplicações em altas potências, mas economicamente inviáveis para aplicação em questão.

A frente disto, o grupo optou para o desenvolvimento deste projeto utilizar forças como: energia solar, por meio de células fotovoltaicas e energia mecânica, através de sensores piezoelétricos e energia cinética. O produto *Hybrid Energy Collector* (HEC) é representado através da figura 15.

Figura 15: representação do produto HEC.

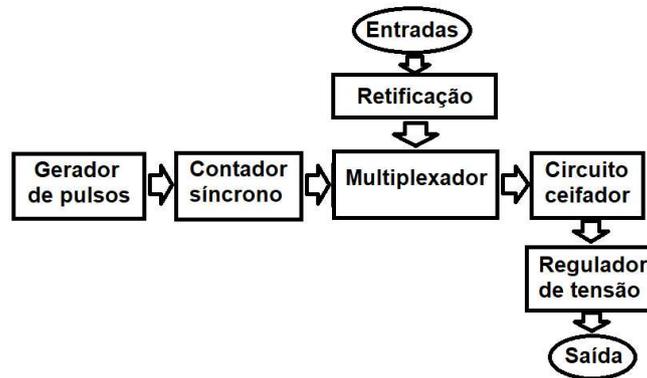


Fonte: Próprio autor.

Portanto, para a solução de integração utilizando a multiplexação de sinais, foi necessário um multiplexador analógico para que o mesmo suporte a variação de tensão

na qual está sendo exposto em suas entradas. Para atender as necessidades do projeto, através da figura 16 é possível observar um diagrama em blocos que representa a solução desenvolvida para este circuito e produto.

Figura 16: Diagrama de blocos do projeto desenvolvido.



Fonte: Próprio autor.

Este equipamento foi projetado para ser aplicado em uma bicicleta, sendo este um veículo considerado como alternativo por não ser emissor de gases poluentes e por estar presente na vida de diversos brasileiros, tanto para fins de locomoção, ou simplesmente como lazer. Para viabilizar sua instalação, a bicicleta deverá possuir um suporte traseiro, também conhecido no mercado como bagageiro. A figura 17 apresenta uma bicicleta com o requisito mínimo para instalação do produto *Hybrid Energy Collector* (HEC), o bagageiro.

Figura 17: apresentação de uma bicicleta com um suporte traseiro.



Fonte: Próprio autor.

Por questões de segurança de projeto o grupo desenvolveu duas soluções: uma através da montagem em uma protoboard e a outra através de uma placa universal, sendo esta preparada para aplicação na bicicleta com bagageiro. A tabela 5 apresenta a lista de materiais adquiridos para o desenvolvimento do circuito, utilizando um contador síncrono não integrado, montado por meio de uma *protoboard*.

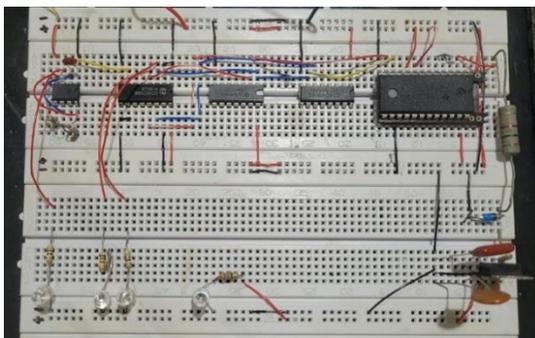
Tabela 5: Lista de materiais utilizados para montagem em *protoboard*.

Montagem em <i>Protoboard</i>				
Componente	Especificação	Quantidade	Valor un.	Valor total
Multiplexador analógico	CD4067	1	R\$ 15,78	R\$ 15,78
Porta NOT	CD4049	1	R\$ 1,74	R\$ 1,74
Porta XOR	CD4070	1	R\$ 1,87	R\$ 1,87
<i>Flip-flop</i> D	CD4076	1	R\$ 2,39	R\$ 2,39
Oscilador	LM555	1	R\$ 0,83	R\$ 0,83
Regulador de tensão	LM7805	1	R\$ 1,43	R\$ 1,43
Diodo	1N4007	1	R\$ 0,18	R\$ 0,18
Diodo Zener	1N4739A	1	R\$ 0,16	R\$ 0,16
Capacitor Cerâmico	100nF / 50V	2	R\$ 0,14	R\$ 0,28
Capacitor de Poliéster	100nF / 63V	1	R\$ 0,57	R\$ 0,57
Resistor	100Ω / 5W	1	R\$ 0,80	R\$ 0,80
Resistor	1MΩ / 0,25W	1	R\$ 0,05	R\$ 0,05
Potenciômetro linear	1MΩ	1	R\$ 1,40	R\$ 1,40
			Total	R\$ 27,48

Fonte: Próprio autor.

A figura 18 mostra a montagem do projeto na *protoboard*, que foi utilizado nos primeiros testes do circuito.

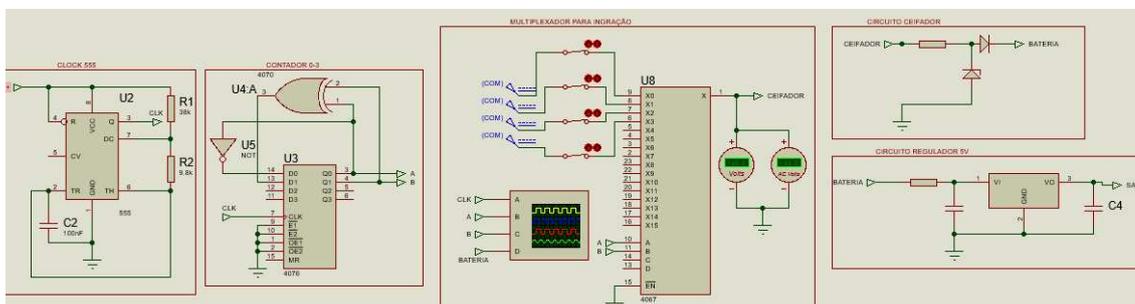
Figura 18: circuito montado em *protoboard*.



Fonte: Próprio autor.

A figura 19 apresenta o esquema elétrico do circuito montado através da *protoboard*.

Figura 19: Esquema elétrico do circuito montado em *protoboard*.



Fonte: Próprio autor.

A tabela 6 apresenta a lista de materiais adquiridos e utilizados para instalação do circuito montado na placa universal.

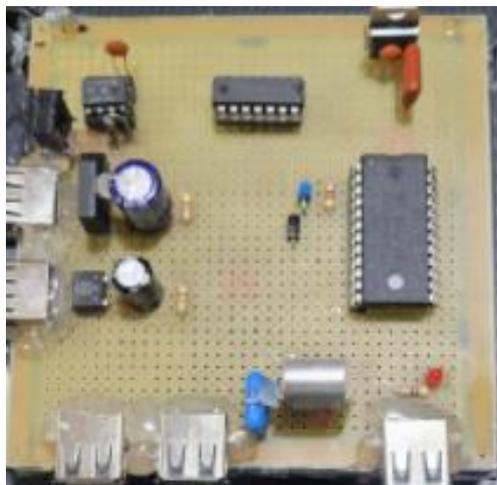
Tabela 6: Lista de materiais utilizados para montagem em placa universal.

Montagem em placa de fenolite				
Componente	Especificação	Quantidade	Valor un.	Valor total
Multiplexador analógico	CD4067	1	R\$ 15,78	R\$ 15,78
Oscilador	LM555	1	R\$ 0,83	R\$ 0,83
Contador síncrono integrado	74LS90	1	R\$ 4,21	R\$ 4,21
Regulador de tensão	LM7805	1	R\$ 1,43	R\$ 1,43
Diodo	1N4007	2	R\$ 0,18	R\$ 0,36
Diodo Zener	1N4739A	1	R\$ 0,16	R\$ 0,16
Ponte retificadora	KBP08	1	R\$ 2,43	R\$ 2,43
Ponte retificadora	B250C800DM	1	R\$ 1,08	R\$ 1,08
Capacitor Cerâmico	100nF / 50V	2	R\$ 0,14	R\$ 0,28
Capacitor Eletrolítico	220µF / 25V	2	R\$ 0,24	R\$ 0,48
Capacitor de Poliéster	100nF / 63V	1	R\$ 0,57	R\$ 0,57
Resistor	100Ω / 5W	1	R\$ 0,80	R\$ 0,80
Resistor	470Ω / 0,25W	2	R\$ 0,05	R\$ 0,10
Resistor	10kΩ / 0,25W	1	R\$ 0,05	R\$ 0,05
Potenciômetro linear	50kΩ	1	R\$ 1,40	R\$ 1,40
Conector USB	Tipo A Fêmea 90º	5	R\$ 1,75	R\$ 8,25
Placa universal cobreada	100 x 100mm	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
			<b>Total</b>	<b>R\$ 53,21</b>

Fonte: Próprio autor.

A figura 20 mostra a montagem do circuito na placa universal do projeto.

Figura 20: Circuito montado em placa universal.



Fonte Próprio autor.

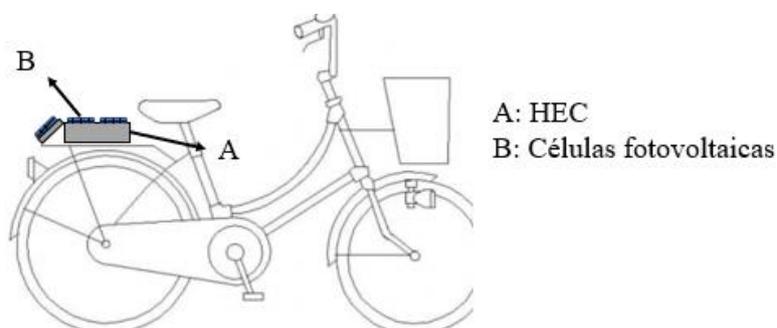
### 3.1 Fontes geradoras de energia

O bloco de entradas das fontes de energia é composto por células fotovoltaicas para a transformação de energia solar, sensores piezoelétricos para transformação da energia mecânica, e um dínamo para transformação da energia cinética.

#### 3.1.1 Células fotovoltaicas

Como informado no capítulo 2, além dos níveis de incidência solar, temperatura e ângulo de exposição, o potencial a ser gerado pela célula também está diretamente relacionado ao seu dimensionamento. Diante disto, o grupo optou por utilizar três células fotovoltaicas com o objetivo de aproveitar o espaço disponibilizado na superfície da carcaça que suporta o circuito. A figura 21, a representação de como foram instaladas as células solares no projeto.

Figura 21: Representação da montagem das células fotovoltaicas.



Fonte: Próprio autor.

Portanto, foi instalado no HEC duas células de 144x61mm, onde cada uma pode disponibilizar 6 Vdc e até 1W de potência. Além destas duas unidades, também foi instalado uma célula de 114x61mm, a qual pode fornecer 5 Vdc e até 1W de potência, além de ambos os modelos apresentarem um rendimento de 13 a 17% de acordo com o fabricante. A figura 22 apresenta as células fotovoltaicas utilizadas para montagem no projeto em questão.

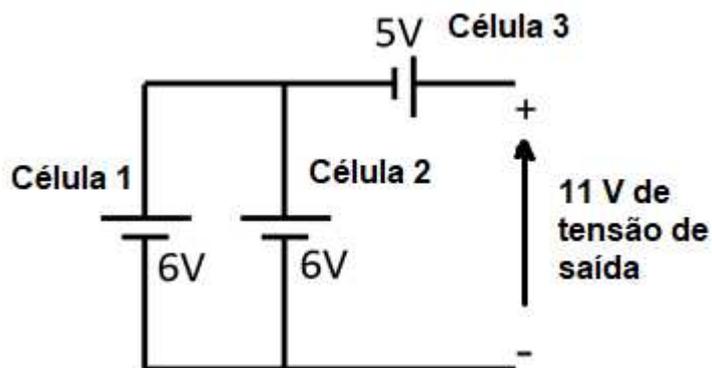
Figura 22: Células fotovoltaicas para instalação no HEC.



Fonte: Próprio autor.

Visando questões de desempenho e eficiência, o grupo optou por montar as duas células de 6 Vdc em paralelo para melhor aproveitamento de corrente e, através de uma montagem em série, inclui-se a célula de 5 Vdc, conforme apresentado no esquema elétrico presente na figura 23.

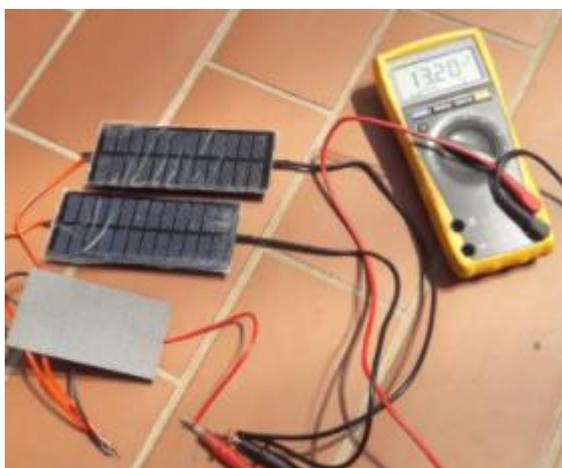
Figura 23: Esquema elétrico dos meios de captação das células fotovoltaicas.



Fonte: Próprio autor.

A figura 24 apresenta as células fotovoltaicas sendo testadas em um período de alta incidência solar.

Figura 24: células fotovoltaicas em período de testes.



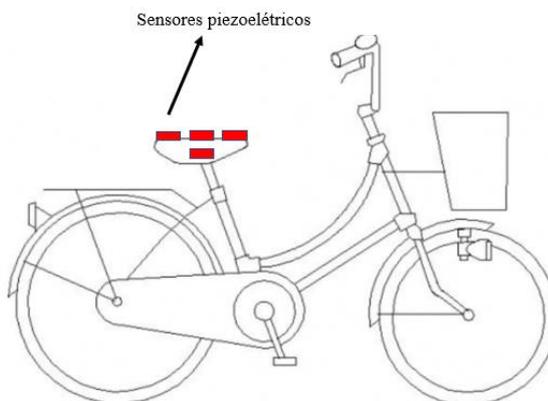
Fonte: próprio autor.

### 3.1.2 Sensores piezoelétricos

Atualmente, é possível encontrar empresas especializadas na geração de energia através de pastilhas piezoelétricas, principalmente em aplicações relacionadas ao ato de caminhar, instalando seus equipamentos em pontos estratégicos para coletar as forças geradas através de grandes fluxos de pessoas.

No HEC, os sensores piezoelétricos foram instalados em um ponto estratégico da bicicleta, sendo este localizado na região do assento, visando a coleta de energia em momentos na qual o mesmo exerce o papel fundamental de amortecimento. A figura 25 apresenta os pontos em que os sensores piezoelétricos foram instalados.

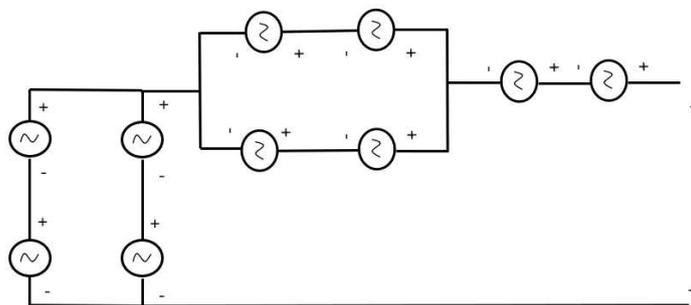
Figura 25: Representação dos pontos de instalação dos sensores piezoelétricos.



Fonte: Próprio autor.

Para a montagem, foram utilizadas dez pastilhas piezoelétricas, sendo que o grupo optou por interligar as pastilhas em formatos série e paralelo visando também o maior desempenho em tensão e corrente a ser direcionada para o HEC. A figura 26 mostra o esquema de montagem realizado para instalação dos sensores piezoelétricos para que se tenha um ganho de tensão, quando em série, e um ganho de corrente, quando em paralelo.

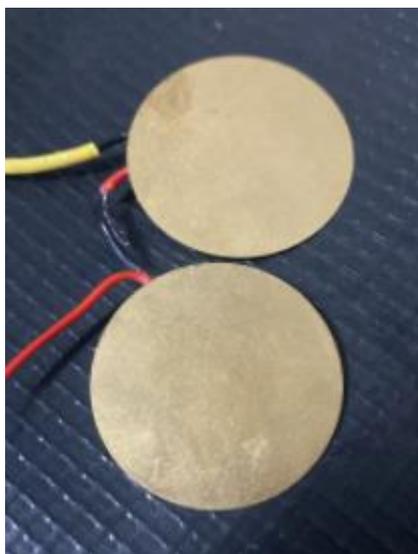
Figura 26: Representação da montagem das pastilhas piezoelétricas.



Fonte: Próprio autor.

A figura 27 mostra as pastilhas piezoelétricas.

Figura 27: Pastilhas piezoelétricas adquiridas para montagem no HEC.



Fonte: Próprio autor.

As pastilhas piezoelétricas são formadas por um cristal de Titanato de Bário ( $\text{BaTiO}_3$ ), possuem um diâmetro de 25mm e podem fornecer uma tensão de 26,9 Vac de acordo com a pressão na qual o material é exposto. A figura 28 apresenta o momento em que obtido o potencial energético mencionado.

Figura 28: Multímetro captando o sinal gerado pela pastilha piezoelétrica.



Fonte: Próprio autor.

### 3.1.3 Dínamo

Para captar e aproveitar a energia cinética gerada a partir do movimento das rodas, o grupo optou por utilizar um dispositivo já presente no mercado para atender esta necessidade, o dínamo. Estes equipamentos são comumente vendidos com o objetivo de direcionar os potenciais elétricos gerados para lâmpadas de sinalização de trânsito presentes na bicicleta.

No HEC, o dínamo se apresenta como o equipamento coletor de maior potencial gerador de energia, variando seus potenciais de acordo com a velocidade que a bicicleta pode oferecer. Este dispositivo é capaz de emitir seus potenciais, em formato alternado, de acordo com o movimento recebido através das rodas. Esta transdução está diretamente ligada a velocidade que a bicicleta pode atingir.

Para aplicação neste projeto, o grupo optou por um modelo e *design* de dínamo já presente no mercado há algum tempo. O mesmo oferece uma fácil aplicação e montagem em diversos modelos de bicicletas. A figura 29 apresenta o dínamo adquirido para instalação.

Figura 29: Dínamo adquirido para instalação no HEC.



Fonte: Próprio autor.

Para instalação e funcionamento deste dispositivo, é necessário utilizar a estrutura da bicicleta como aterramento para o mesmo. Garantindo o devido aterramento para o dínamo e, realizando uma boa montagem visando o posicionamento e estabilidade do dispositivo, este será capaz de oferecer em sua saída o valor de 12 Vrms com uma potência de até 5W, valor este fornecido pelo fabricante.

Este dispositivo foi instalado na roda traseira da bicicleta com o objetivo de reduzir o comprimento dos fios que se apresentam rentes a estrutura. Veja a representação do posicionamento do dínamo já instalado na bicicleta através da figura 30.

Figura 30: Representação da instalação do dínamo na bicicleta.



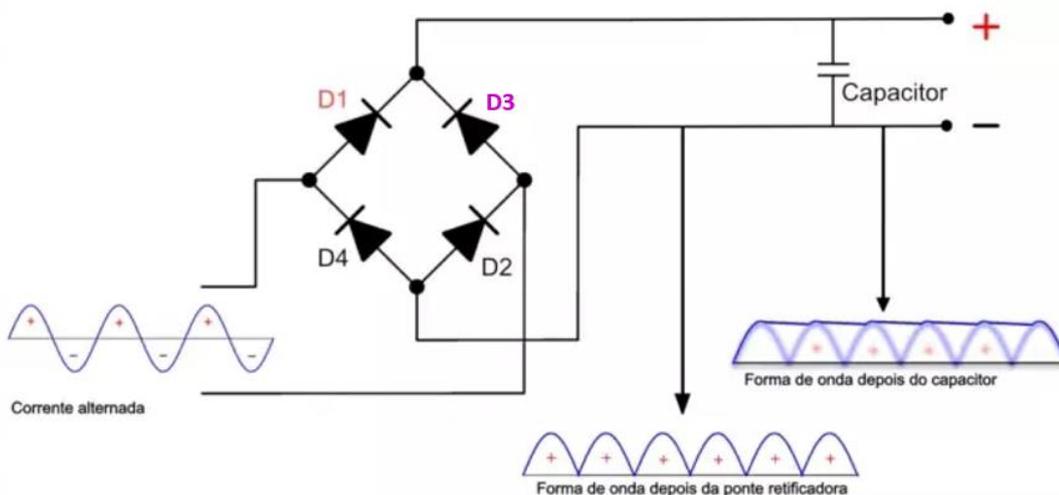
Fonte: Próprio autor.

### 3.2 Retificação

Como informado anteriormente, tanto as pastilhas piezoelétricas quanto os dínamos emitem em suas saídas potenciais em forma de corrente alternada, devido as grandezas que estão sendo captadas. Portanto, o grupo optou por desenvolver dois circuitos retificadores para estabelecer um padrão de sinal a ser trabalhado. No caso, foi optado pelo sinal em corrente contínua.

Para o desenvolvimento do circuito retificador de tensão, foi utilizado uma ponte retificadora de diodos. Este circuito é constituído por 4 diodos, entretanto, utilizou-se o circuito integrado do tipo B250C800DM, para a saída do sinal das pastilhas piezoelétricas, e um do tipo KBP08, para a saída do sinal do dínamo, a fim de otimizar o espaço na placa final. Além da ponte retificadora, é comum se utilizar um capacitor para filtragem do sinal e correção do *ripple* encontrado após a retificação dos diodos. Veja o circuito retificador de tensão através da figura através da figura 31.

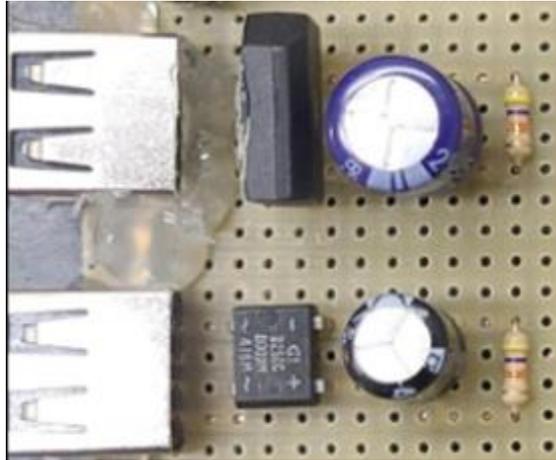
Figura 31: Esquema elétrico do circuito retificador.



Fonte: MATTEDE, Henrique.

Para receber o sinal das fontes geradoras, o grupo adaptou as saídas de cada fonte para que a placa os receba no formato USB. Esta adaptação de suas entradas pode ser vista através da figura 32.

Figura 32: Montagem dos circuitos retificadores em placa.



Fonte: Próprio autor.

Para obtenção dos valores de: tensão de pico na saída do dínamo, tensão de pico na carga, *ripple* e tensão média foram escolhidos os valores do capacitor e resistor do circuito retificador de sinal para o dínamo. Este dispositivo coletor é capaz de gerar um sinal em formato alternado com uma frequência de 55Hz em onda completa, estando em condições ideais de trabalho. Como base de cálculo, foi utilizado o equacionamento (9) para obter o valor da tensão de pico.

$$V_{S\ pico} = V_{rms} * \sqrt{2} \quad (9)$$

$$V_{S\ pico} = 12 * \sqrt{2}$$

$$V_{S\ pico} = 16,97V$$

Através do equacionamento (10), é possível encontrar o valor que representa a tensão de pico presente na carga.

$$V_{RL\ pico} = V_{S\ pico} - (n * V_{t\ si}) \quad (10)$$

Sendo:

- $n$  = Número de diodos atuantes presentes no circuito;
- $V_{t\ si}$  = Tensão de limiar dos diodos semicondutores de silício;
- $V_{RL\ pico}$  = Tensão de pico presente na carga;
- $V_{S\ pico}$  = Tensão de pico na saída do dínamo.

$$V_{RL\ pico} = 16,97V - (2 * 0,7V)$$

$$V_{RL\ pico} = 15,57V$$

Para calcular a tensão média deste circuito, devemos nos basear no equacionamento (11).

$$V_{DC} = \frac{V_{RL\ pico}}{1 + \frac{1}{2 * f_{(Hz)} * R_L * C}} \quad (11)$$

Sendo:

- $V_{DC}$  = Tensão média do circuito;
- $f_{(Hz)}$  = Frequência em Hertz gerada pelo dínamo;
- $R_L$  = Resistência na carga;
- $C$  = Capacitância presente no circuito.

Foi escolhido o valor de  $450\Omega$  para a resistência presente na carga deste circuito e o valor de  $220\mu F$  para o capacitor.

$$V_{DC} = \frac{15,57}{1 + \frac{1}{2 * 55 * 450 * 0,000220}}$$

$$V_{DC} = 14,26V$$

Para encontrarmos o valor da tensão de pico do *ripple*, foi utilizado como base o equacionamento (12).

$$V_{r\ pico} = V_{RL\ pico} - V_{DC} \quad (12)$$

Sendo:

- $V_{r\ pico} =$  Tensão do *ripple*.

$$V_{r\ pico} = 15,57 - 14,26$$

$$V_{r\ pico} = 1,31V$$

Após encontrar o valor da tensão de pico do *ripple*, deve-se encontrar o valor da tensão eficaz para que seja possível encontrar o valor do *ripple*. Para isto, o grupo se baseou no equacionamento (13).

$$V_{r\ rms} = \frac{V_{r\ pico}}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

Sendo:

- $V_{r\ rms} =$  Tensão eficaz do *ripple*.

$$V_{r\ rms} = \frac{1,31}{\sqrt{3}}$$

$$V_{r\ rms} = 0,756V$$

Após encontrar o valor da tensão eficaz do *ripple*, pode-se encontrar o valor da porcentagem do *ripple* através do equacionamento (14).

$$\boxed{\%r = \frac{V_{r\ rms}}{V_{DC}} * 100[\%]} \quad (14)$$

Sendo:

- $\%r$  = O valor do *ripple* em porcentagem.

$$\%r = \frac{0,756}{14,26} * 100[\%]$$

$$\%r = 5,3\%$$

### 3.3 Circuito de controle

Para o funcionamento do projeto através do multiplexador analógico, há necessidade de se desenvolver um circuito de controle para que gere, através de uma frequência de *clock* e um contador síncrono, sequências binárias que serão recebidas pelo multiplexador, que ocasionará o acionamento das “chaves internas” do MUX de acordo com a frequência e sequência a ser recebida.

#### 3.3.1 Implementação do gerador de pulsos

Para implementação do circuito gerador de pulsos, o grupo utilizou o circuito integrado LM555. A finalidade da aplicação deste circuito se deu a partir da necessidade de se desenvolver um circuito de controle, para que o mesmo opere no canal de controle do multiplexador analógico.

Por meio de uma sequência de testes, utilizando o *software* PROTEUS ISIS, e cálculos, através do equacionamento (8), o grupo pôde encontrar um funcionamento ideal

do contador e do *clock* através de uma frequência de 250Hz. Nesta faixa de operação foi possível encontrar estabilidade do sinal na montagem prática. Os componentes utilizados foram especificados tendo como valores 100nF para o capacitor e 38kΩ para o resistor da posição R1.

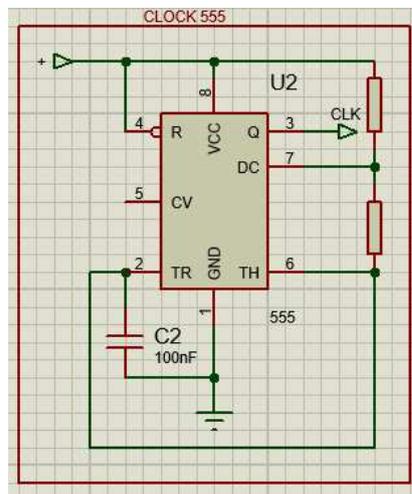
$$f = \frac{1,44}{(R1 + 2 * R2) * C} \quad (8)$$

$$250 = \frac{1,44}{(38k + 2 * R2) * 100n}$$

$$R2 = 9,8k\Omega$$

Após as especificações dos componentes a serem utilizados, o grupo realizou a montagem do circuito gerador de pulsos conforme a figura 33.

Figura 33: Circuito gerador de pulsos pelo *software* PROTEUS ISIS.

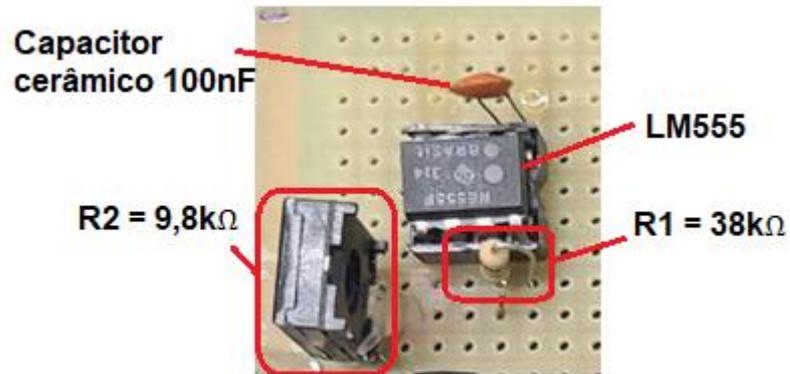


Fonte: Próprio autor.

Para a montagem prática, visando a possibilidade de se aplicar e testar entre outros valores para frequência de operação, o grupo optou por utilizar um o resistor R1 como

fixo e o resistor R2 como uma resistência variável, sendo este formado por meio de um potenciômetro. A figura 34 a montagem em placa do bloco gerador de pulsos.

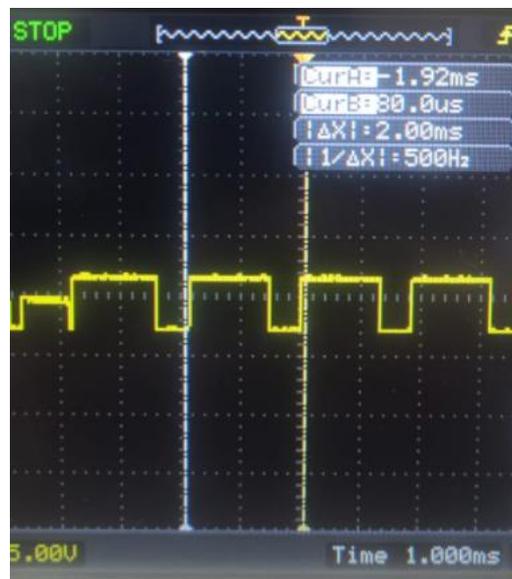
Figura 34: Circuito gerador de pulsos já em placa.



Fonte: Próprio autor

A figura 35 apresenta a forma de onda gerada pelo circuito gerador de pulsos.

Figura 35: Forma de onda pelo circuito gerador de pulsos.



Fonte: Próprio autor.

### 3.3.2 Implementação do contador síncrono integrado

O grupo optou por realizar a montagem deste circuito na placa final, com o CI 74LS90N. Com este dispositivo é possível obter uma maior otimização e facilidade na montagem do circuito contador síncrono, além da otimização do espaçamento na placa universal. A figura 36 mostra a montagem em placa do circuito integrado.

Figura 36: Montagem do contador síncrono integrado através do CI 74LS90N.



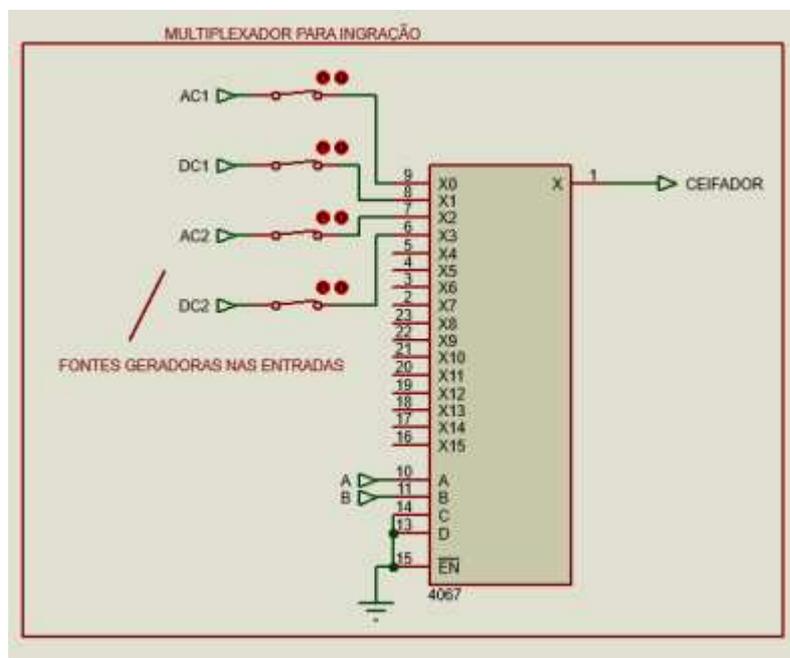
Fonte: Próprio autor.

Este circuito será responsável pela emissão das sequências binárias que serão direcionadas para as entradas de controle A e B do multiplexador analógico CD4067.

### 3.4 Implementação do multiplexador analógico

Para montagem do circuito foi utilizado o multiplexador analógico do tipo CD4067. Através deste e, por meio de nosso projeto, existe a possibilidade de utilizar até oito meios coletores, que poderão ser direcionados para as entradas do multiplexador. Todavia, para efeitos de comprovação do funcionamento, foi utilizado 4 entradas das quais estão atreladas as variáveis de controle A e B que saem do contador. Ver o esquema elétrico deste circuito por meio da figura 37.

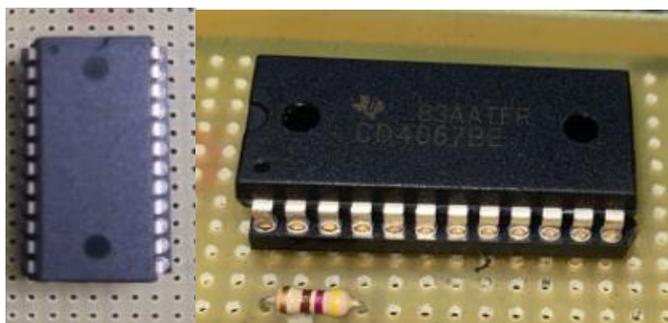
Figura 37: CI CD4067 montado através do *software* PROTEUS ISIS.



Fonte: Próprio autor.

Em placa, este circuito integrado foi posicionado e soldado respeitando os padrões em blocos estabelecidos durante os testes através do *software*. Observe por meio da figura 38 o CI CD4067 soldado em placa.

Figura 38: CI CD4067 montado em placa.



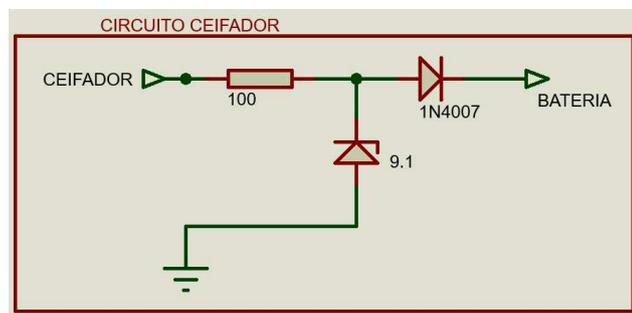
Fonte: Próprio autor.

### 3.5 Implementação do circuito ceifador de tensão

O circuito ceifador, ou limitador, de tensão foi adotado para este projeto com o objetivo de proteger a bateria. Este bloco é o último circuito que antecede o direcionamento dos potenciais coletados e evita que os mesmos ultrapassem a tensão disponibilizada pela bateria, fazendo com que a mesma não seja afetada por sobre tensões. Para este projeto foi utilizado uma bateria de 9 V.

Foi montado um circuito ceifador de tensão, utilizando um diodo *Zener*. Este circuito foi primeiramente executado no *software* PROTEUS ISIS e pode ser observado através da figura 39.

Figura 39: Circuito ceifador de tensão através do PROTEUS ISIS.



Fonte: Próprio autor.

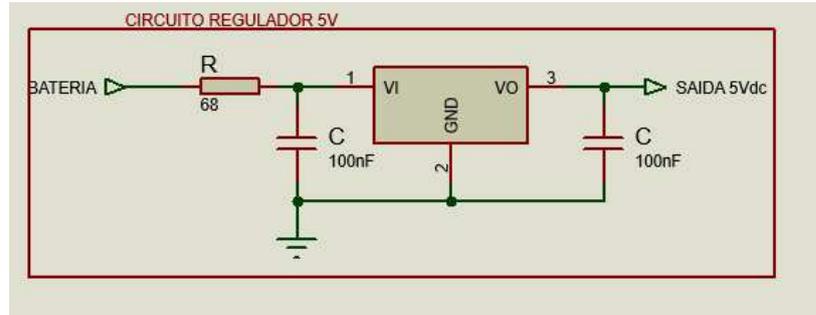
Para este circuito, foi utilizado um diodo *Zener* do tipo 1N4739A, um resistor de  $470\Omega$  e um diodo convencional, modelo 1N4007. O *Zener* possui uma tensão de 9,1V, com uma corrente de 28mA.

### 3.6 Implementação do circuito regulador de tensão

Foi desenvolvido um circuito regulador de tensão no valor de 5 Vdc, tensão esta muito usual para o carregamento de dispositivos como celulares, fones de ouvido e entre outros equipamentos.

Para o desenvolvimento deste circuito foi utilizado o circuito integrado LM7805. A figura 40 mostra a montagem deste circuito através do *software* PROTEUS ISIS.

Figura 40: Circuito regulador de tensão através do PROTEUS ISIS.



Fonte: Próprio autor.

Para completar o circuito, deve-se utilizar dois capacitores na entrada e saída, sendo recomendado pelo fabricante o valor 100nF e um resistor de 68Ω em sua entrada. Foi escolhido um resistor de 5W devido aos valores de corrente que passam pelo circuito de saída, sendo 5 Vdc com até aproximadamente 900 mA, e pela Lei de Ohm tem-se:

$$P = U * I \quad (15)$$

Sendo:

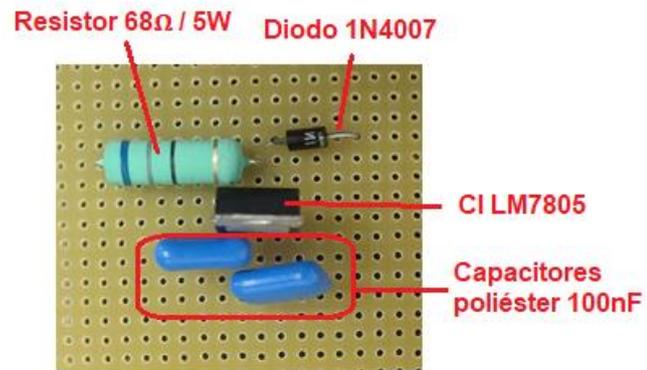
- $P$  = Potência do circuito[W].
- $U$  = Tensão fornecida na carga[V].
- $I$  = Corrente fornecida na carga[A].

$$P = 5 * 0,9$$

$$P = 4,5W$$

Através da figura 41 é possível observar o circuito regulador de tensão instalado já em placa universal.

Figura 41: Circuito regulador de tensão em placa universal.

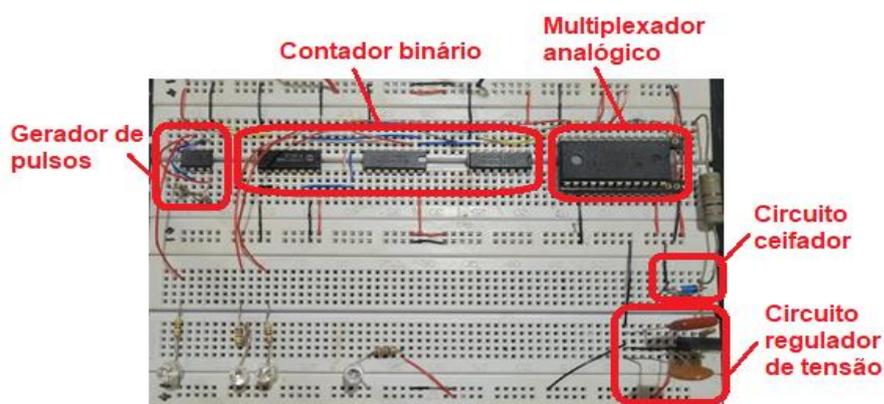


Fonte Próprio autor.

## 4 RESULTADOS

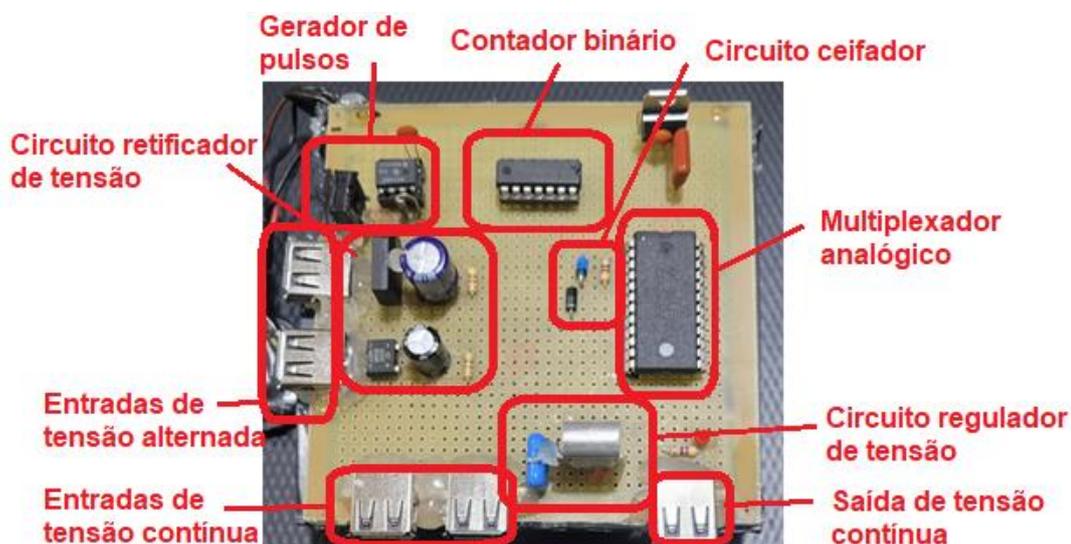
No capítulo 3 foi apresentado, no formato de blocos, cada etapa de desenvolvimento da solução projetada para a execução deste trabalho. Neste capítulo serão abordados os principais resultados alcançados no projeto do coletor híbrido de energia (HEC). Ao interligar os blocos apresentados no capítulo 3, foram obtidos os circuitos finais apresentados nas figuras 42 e 43.

Figura 42: *Hybrid Energy Collector* (HEC) instalado em *protoboard*.



Fonte: Próprio autor.

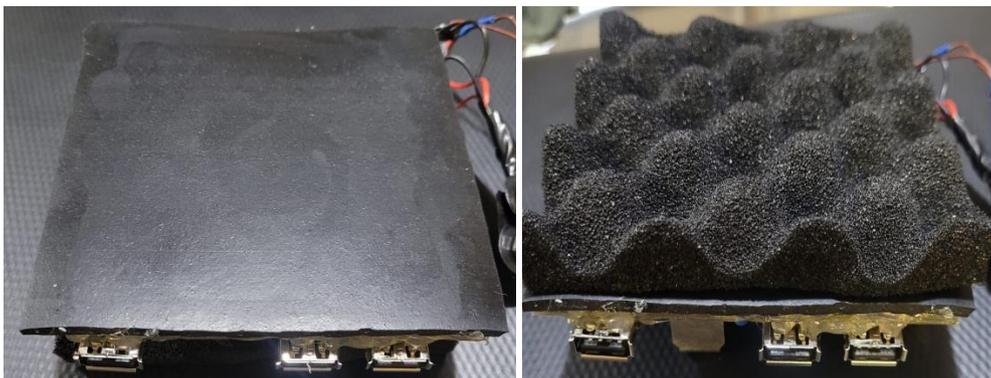
Figura 43: *Hybrid Energy Collector* (HEC) instalado em placa universal.



Fonte: Próprio autor.

Para a proteção e isolamento da placa, foi instalado uma capa de borracha de 10mm de espessura na parte cobreada e uma espuma antiestática, conforme figura 44.

Figura 44: Material para isolamento e proteção.



Fonte: Próprio autor.

Paralelamente a elaboração do protótipo, foram instaladas as fontes de energias alternativas apresentadas no capítulo 2 na bicicleta e a instalação das células fotovoltaicas em uma caixa de acrílico, conforme figura 45, utilizando o espaço disponível na superfície do material utilizado. Observe através da figura 46 as células solares instaladas no projeto HEC.

Figura 45: Caixa de acrílico utilizada no projeto.



Fonte: Próprio autor.

Figura 46: Células fotovoltaicas instaladas no HEC.



Fonte: Próprio autor.

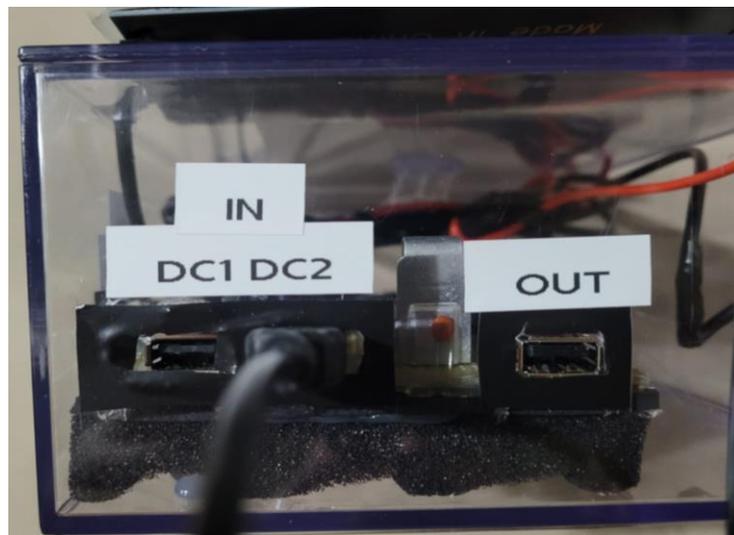
Todas as fontes de geração de energia tiveram suas saídas padronizadas no modelo USB-A para que fosse fácil sua manipulação e acoplamento no protótipo. A figura 47 mostra as entradas AC1 e AC2 prontas para receberem os sinais alternados gerados através dos sensores piezoelétricos e dínamos, e na figura 48, as entradas DC1 e DC2 para sinais contínuos através das células fotovoltaicas e outras fontes, juntamente com a saída de 5 Vdc OUT regulada.

Figura 47: Entradas de fontes de tensão alternada.



Fonte: Próprio autor.

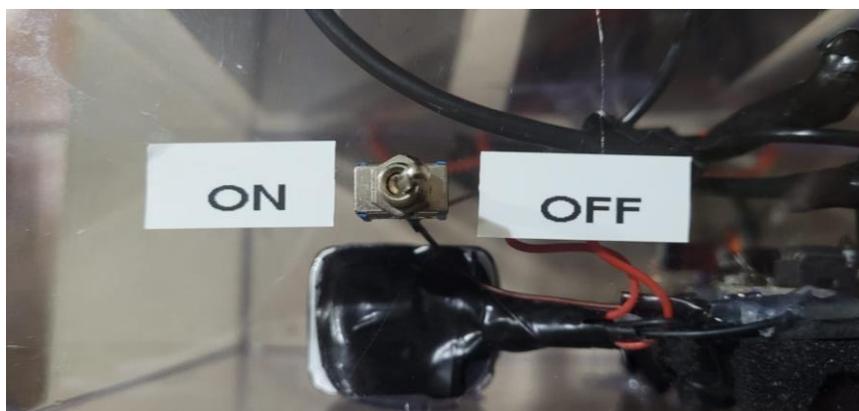
Figura 48: Entradas de fontes contínuas e saída 5 Vdc.



Fonte: Próprio autor.

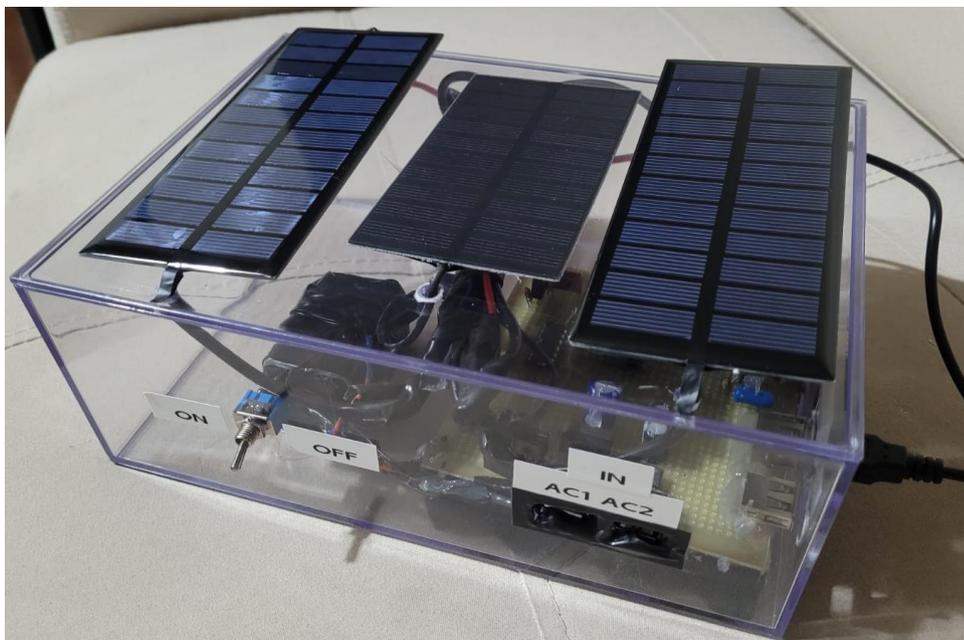
Para interromper a utilização da carga de bateria e o consumo pelo circuito, foi instalado uma chave de duas posições, conforme figura 49. Na figura 51 é possível observar o protótipo finalizado já instalado em uma caixa resistente de acrílico de 10mm de espessura.

Figura 49: Chave de duas posições.



Fonte: Próprio autor.

Figura 50: *Hybrid Energy Collector* (HEC)



Fonte: Próprio autor.

Com o protótipo finalizado e células fotovoltaicas instaladas, o dínamo foi ajustado e fixo na bicicleta utilizada, juntamente com a matriz de pastilhas piezoelétricas no banco, conforme figuras 51 e 52, respectivamente.

Figura 51: Instalação do dínamo na bicicleta.



Fonte: Próprio autor.

Figura 52: Instalação das pastilhas piezoelétricas na bicicleta.



Fonte: Próprio autor.

Em um teste simulando um passeio de bicicleta de vinte minutos, o protótipo foi submetido em diversas condições de coleta, que variam do pior cenário, no qual a fonte não consegue captar energia, ao melhor cenário para a colheita energética, quando é possível a captação completa, conforme tabela 7.

Tabela 7: Apresentação de resultados práticos obtidos no HEC.

Fontes energéticas ativas	Percentual de coleta na saída do protótipo		
	0-1%	50%	100%
Dínamo	0,14V	2,98V	4,78V
Piezeletricidade	0,03V	0,79V	1,24V
Células solares	0,21V	2,13V	4,32V
Dínamo e piezeletricidade	0,18V	3,12V	4,86V
Dínamo e células solares	0,36V	4,11V	4,98V
Células solares e piezeletricidade	0,24V	2,87V	4,47V
Células solares, piezeletricidade e dínamo	0,41V	4,67V	4,99V

Fonte: Próprio autor.

Em testes e projeções utilizando como carga uma bateria de celular, com 4,4 V de tensão de recarga e 10,7 Wh, e tendo na saída do protótipo valores aproximados de 5 Vdc com 900 mAh advindos das baterias e sendo recarregadas em condições ideais, valor 100% referente a tabela 5, para recarregar completamente a bateria de carga levaria aproximadamente 3-4 horas com o protótipo.

## 5 CONCLUSÕES

A sociedade brasileira diante de um problema tão impactante quanto ao fato de haver cerca de dois milhões de pessoas sem acesso à energia elétrica incentivou a equipe para a execução deste trabalho de conclusão de curso. Como já disse Thomas Edison, “se todos nós fizéssemos as coisas que realmente somos capazes de fazer, literalmente nos espantaríamos”.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi possível analisar e sentir o enorme universo a ser explorado, quanto a obtenção de meios energéticos renováveis, pela qual podem ser submetidas a meios próprios, industriais ou comerciais.

O grupo defende por meio deste a viabilidade quanto a utilização de meios de captação de energia renovável em aplicações presentes em nosso dia a dia, onde que, a bicicleta na qual foi aplicada o *Hybrid Energy Collector* (HEC) apresentou resultados satisfatórios dos potenciais obtidos e disponibilizados ao usuário, sendo capaz de coletar e armazenar energia recarregando baterias de 9 V, com condições ideais, em 3 ou 4 horas.

No quesito de custo, se gastou para a elaboração do protótipo aproximadamente R\$100,00, excluindo insumos e fontes energéticas e 5h efetivas para a montagem com 2 pessoas, sendo o valor por hora trabalhada avaliado em R\$10,00. O custo do projeto, como um produto a ser vendido, se encontra dentre R\$200,00–R\$300,00, visando uma margem de lucro de 100%-200%, tornando o projeto viável tanto em funcionalidade quanto em valor de mercado.

Portanto, o produto apresentado no trabalho em questão, demonstra circuitos e componentes idealmente especificados para atender aplicações presentes no cotidiano do cliente para casos de baixas potências, podendo ser utilizado na alimentação de equipamentos como, fones de ouvido, celulares, controles e entre outros dispositivos presentes no mercado.

## 6 FUTUROS PROJETOS

- Implementação de até 16 entradas no multiplexador;
- Criação de um circuito amplificador de corrente de saída utilizando transistores bipolares de junção;
- Microcontrolador ATMEGA Arduino para leituras dos potenciais das fontes obtivas e calcular o aproveitamento e eficiência energética;
- Anexação de um módulo de banco de capacitores para ampliar a capacidade de armazenamento e melhorar a coleta energética;
- Instalação de um display LCD para visualização do usuário da carga de bateria e consumo em Watt-hora;
- Melhorias “*recall*” do circuito original;
- Monitoramento via modulo *BLUETOOTH* com *Smartphone*.

## 7 REFERÊNCIAS

- [1] ROYAN, Jorge. Lei de Lavoiser. Manual da Química. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/lei-lavoisier.htm>>. Acessado em 13 de novembro de 2021.
- [2] GUIMARÃES, Fábio. Efeito Piezoelétrico – Entenda como funciona o buzzer. Mundo Projetado. Disponível em: <<https://mundoprojetado.com.br/efeito-piezoelétrico-entenda-como-funciona-o-buzzer/>>. Acessado em 13 de novembro de 2021.
- [3] MARTÍNEZ, F. J., FRUTOS, J. D., ALONSO, D., & VÁZQUEZ, M. *Optimización de piezoeléctricos comerciales para su uso en sistemas de Energy Harvesting*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 2015. n. 54, 247-253p.
- [4] CANCIO, L., & GHISSONI, S. Piezoelectricidade: A Geração de Energia Limpa e Suas Aplicações. *Anais do Salão Internacional de Ensino*, 14 de Fevereiro de 2020. *Pesquisa e Extensão v. 5 n. 1*.
- [5] CRISTAIS PIEZOELÉTRICOS. Engenheiro de Materiais, 9 de Março de 2016). Disponível em: Engenheiro de Materiais <<https://engenheirodemateriais.com.br/2016/03/09/cristais-piezoelétricos/>>. Acesso em: dia primeiro de outubro de 2021.
- [6] RAFAEL DE MATOR MORAES. Desenvolvimento de sistemas para coleta de energia vibracional utilizando dispositivos piezoelétricos. 110 Páginas. Dissertação de Mestrado Acadêmico em - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

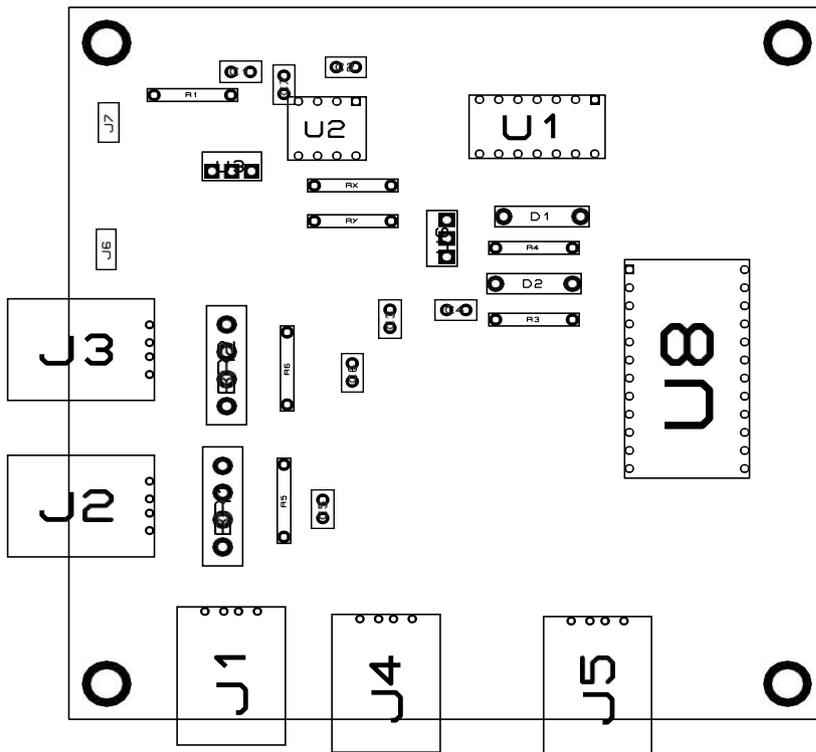
- [7] LEFEUVRE, E.; AUDIGIER, D.; RICHARD, C.; GUYOMAR, D. *Buck-boost converter for sensorless power optimization of piezoelectric energy harvester. Ieee Transactions on Power Electronics*, v. 22, n. 5, p. 2018–2025, 2007.
- [8] OTTMAN, G. K.; HOFMANN, H. F.; BHATT, A. C.; LESIEUTRE, G. A. *Adaptive Piezoelectric Energy Harvesting Circuit for Wireless Remote Power Supply. IEEE Transactions on Power Electronics*, v. 17, n. 5, p. 669–676, 2002.
- [9] KONG, N.; COCHRAN, T.; HA, D. S.; LIN, H. C.; INMAN, D. J. *A self-powered power management circuit for energy harvested by a piezoelectric cantilever. Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*, p. 2154–2160, 2010.
- [10] HALLIDAY, D.; RESNIKCK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física. (vol. 1). Trad. de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 349p.*
- [11] TRIPLER, P.; MOSCA, G. *Física para Cientistas e Engenheiros. (vol. 1) 6ª edição. Trad. de Paulo Machado Mors. São Paulo: Editora LTC, 2009.*
- [12] *Energia Solar Fotovoltaica. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, dia onze, de junho de 2008. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=321](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321)>. Acesso em: quatro de outubro de dois mil e vinte e um.*
- [13] CASARO, Marcio & MARTINS, Denizar. *MODELO DE ARRANJO FOTOVOLTAICO DESTINADO A ANÁLISES EM ELETROÔNICA DE POTÊNCIA VIA SIMULAÇÃO. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná.*

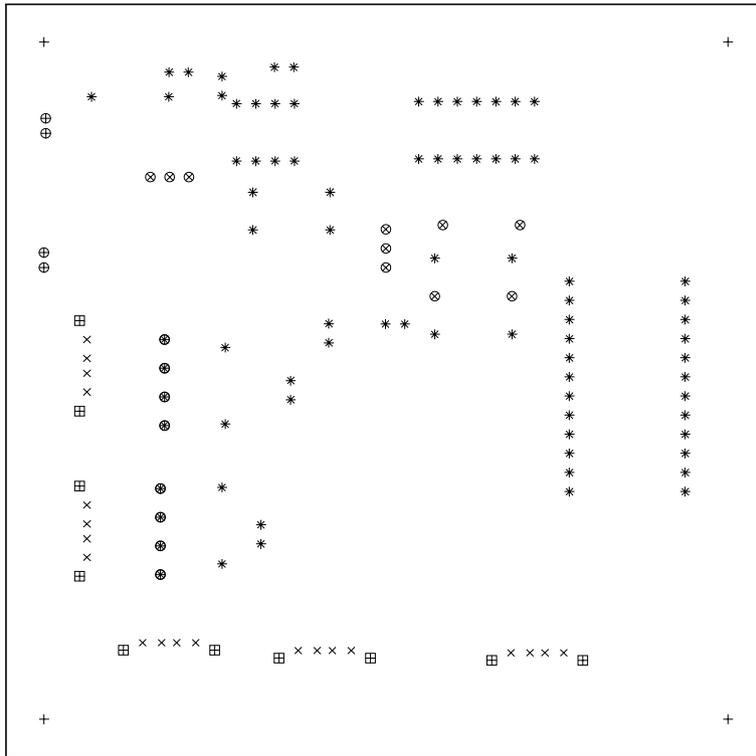
- [14] MICROGRIDS: CONHEÇA A SOLUÇÃO QUE PODE GARANTIR O ABASTECIMENTO ELÉTRICO ATÉ MESMO NAS REGIÕES MAIS REMOTAS. Siemens. Disponível em: <<https://new.siemens.com/br/pt/empresa/stories/energia/microgrid-solucao-brasil-mais-iluminado.html>>. Acessado em: dia primeiro de outubro de dois mil e vinte e um.
- [15] Eletrobras Eletronuclear. O que é Energia. Eletrobras Eletronuclear. Disponível em: < <https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/O-que-e-Energia.aspx>>. Acessado em: dia primeiro de outubro de dois mil e vinte e um.
- [16] Oriol Planas. O que é energia mecânica? Blog Energia Nuclear. Disponível em: < <https://pt.energia-nuclear.net/energia/energia-mecanica>>. Acessado em: dia primeiro de outubro de dois mil e vinte e um.
- [17] National Association o State Energy Oicials. Microgrids State Working Group. Disponível em: < <https://www.naseo.org/issues/electricity/microgrids>>. Acessado em: dia primeiro de outubro de dois mil e vinte e um.
- [18] Eletrogate. TUTORIAL CI 555: GERADOR PWM. Blog Eletrogate. Dia 6 de outubro de 2020. Disponível em: < <https://blog.eletrogate.com/gerador-pwm-com-ci-555/>>. Acessado em: dia primeiro de outubro de dois mil e vinte e um.
- [19] NEVES, Felipe. OSCILADOR SIMÉTRICO DE ONDA QUADRADA COM 555. Embarcados, dia 14 de outubro de 2016. Disponível em: < <https://www.embarcados.com.br/oscilador-simetrico-onda-quadrada-555/>>. Acessado em: dia dez de outubro de dois mil e vinte e um.

- [20] PESSOA, Julie. CONTADORES DIGITAIS COM FLIP FLOP JK. POT News, s.d.. Disponível em: <<http://www.dsc.ufcg.edu.br/~pet/jornal/abril2014/materias/recapitulando.html>>. Acessado em: dia vinte de outubro de dois mil e vinte e um.
- [21] SANTOS, Antônio. CIRCUITOS CEIFADORES (LIMITADORES DE TENSÃO). Universidade Federal do Rio de Janeiro, s.d.. Disponível em: <<http://omnis.if.ufrj.br/~toni/aula03.pdf>>. Acessado em: dia doze de outubro de dois mil e vinte e um.
- [22] SOUZA, Alan. CIRCUITOS COM DIODOS: GRAMPEADOR CEIFADOR ZENER. Slide Share, vinte e seta de março de dois mil e quatorze. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/luceliolemos/circuitos-com-diodos-grampeador-ceifador-zener/18>>. Acessado em: dia doze de outubro de dois mil e vinte e um.
- [23] WENDLING, Marcelo. CI REGULADORES DE TENSÃO. Universidade Estadual Paulista, 2009, versão 1.0. Disponível em: <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/2---ci-reguladores-de-tensao---v1.0.pdf>>. Acessado em: dia quinze de outubro de dois mil e vinte e um.
- [24] MATTEDE, Henrique. DIODO RETIFICADOR! O QUE É? PRA QUE SERVE? Mundo da Elétrica, s.d.. Disponível em: <[https://www.mundodaeletrica.com.br/diodo-retificador-o-que-e-pra-que-serve/\(mundodaeletrica.com.br\)](https://www.mundodaeletrica.com.br/diodo-retificador-o-que-e-pra-que-serve/(mundodaeletrica.com.br))>. Acessado em: dia quinze de outubro de dois mil e vinte e um.

## 8 ANEXOS

Abaixo se encontram *layouts* do circuito realizado pelo *software* PROTEUS para impressão e confecção da placa de circuito impresso em dimensões reais.





SYM	SIZE	PLATED	QTY
+	4mm	YES	4
X	25th	YES	20
*	30th	YES	74
⊕	32th	YES	4
⊗	40th	YES	10
⊗	45th	YES	8
⊞	80th	YES	10

