

**LUIZ FERNANDO SUZARTE SILVA FERREIRA**

**SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA VIA SENSORES  
PIEZOELÉTRICOS**

Brasília

2017

**LUIZ FERNANDO SUZARTE SILVA FERREIRA**

**SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA VIA SENSORES  
PIEZOELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do curso de Engenharia Elétrica da FATECS – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Centro Universitário de Brasília como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof.<sup>a</sup>. MSc. Luciano Henrique Duque

Brasília

2017

**LUIZ FERNANDO SUZARTE SILVA FERREIRA**

**SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA VIA SENSORES  
PIEZOELÉTRICOS**

Trabalho aprovado. Brasília, DATA DA APROVAÇÃO:

---

Msc. Prof<sup>o</sup> Luciano Henrique Duque  
Orientador

---

Dr. Prof<sup>o</sup> Alexandre Naves de Brito  
Convidado 1

---

Msc. Prof<sup>o</sup> Ivandro da Silva Ribeiro  
Convidado 2

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele e sem a força que ele me deu no decorrer de todo o curso eu não estaria aqui, agradeço também a minha mãe Kelly Cristina e ao meu pai Wancleber Ribeiro, pois sempre me apoiaram e me ajudaram a enfrentar meus medos e dificuldades além de me ensinar a ser perseverante e a nunca desistir de meus objetivos, a minha namorada por estar ao meu lado me apoiando nos momentos mais difíceis, a minha vó Dejanira que sempre orou e torceu por minha vitória, ao meu Tio Ferreira por me ajudar sempre que precisei e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para eu chegar até esta etapa da minha vida. Agradeço a meu professor orientador Luciano Duque por me guiar e me ajudar a evoluir na construção deste projeto. E para não correr o risco de esquecer alguém agradeço e dedico essa monografia a todos que me ajudaram e torceram por mim.*

***“Combati o bom combate, completei a carreira, guardei a fé. ”  
(II Timóteo Capítulo 4.)***

## RESUMO

O presente projeto se propõe a desenvolver um sistema de energia limpa e renovável “ENERGIA ALTERNATIVA PIEZOELÉTRICA”, através de sensores piezoelétricos, trazendo uma solução alternativa de pequenas cargas, contribuindo em pequena escala na economia energética e com a sustentabilidade do meio ambiente. Será utilizado pastilhas piezoelétricos, pois tem uma característica interessante. Ao sofrerem uma deformação, apresentam um campo elétrico, gerando uma diferença de potencial. O protótipo desenvolvido gera energia com a passagem de carros pelo transdutor, assim gerando uma diferença de potencial. O circuito eletrônico para armazenamento de energia, ocorrerá da seguinte forma, a energia passará por um banco de capacitores (campos elétricos) e assim armazenará energia em uma bateria, da qual será utilizado para alimentar as luzes semafóricas em um espaço específico (sinais de trânsito) e com isso possibilitará a verificação da viabilidade do sistema.

**Palavras-chave:** Energia Limpa. Piezoeletricidade. Energia Alternativa.

## **ABSTRACT**

The present project proposes to develop a clean and renewable energy system "PIEZOELETRICA ALTERNATIVE ENERGY", through piezoelectric sensors, bringing an alternative solution of small loads, contributing in a small scale in the energy economy and with the sustainability of the environment. Piezoelectric pellets will be used as they have an interesting feature. When they undergo a deformation, they present an electric field, generating a potential difference. The developed prototype generates energy with the passage of cars through the transducer, thus generating a potential difference. The electronic circuit for energy storage will take place in the following way, energy will pass through a bank of capacitors (electric fields) and thus store energy in a battery, which will be used to power the traffic lights in a specific space (traffic signals) and will enable verification of the viability of the system.

**Keywords:** Clean Energy. Piezoelectricity. Alternative energy.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	<i>Objetivo Específico</i>	17
1.2	Motivação	18
1.3	Metodologia	18
1.4	Resultados Esperados	21
1.5	Trabalhos Correlatos	22
1.6	Organização da Monografia	22
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>23</b>
2.1	Materiais inteligentes	24
2.1.1	<i>Colheita de Energia (Energy Harvesting)</i>	27
2.1.2	<i>Transdutor piezoelétrico</i>	29
2.1.3	<i>Retificadores</i>	33
2.1.4	<i>Filtros</i>	33
2.1.5	<i>Controladores de carga</i>	34
2.1.6	<i>Inversores</i>	34
2.2	Arduino	35
2.2.3	<i>Esquemático Elétrico Arduino</i>	37
2.2.4	<i>Dados técnicos do Arduino</i>	40
2.3	Conversor Buck Boost	41
2.4	Medições	42
2.5	Sensor de Corrente	44
2.6	Transistor BC337	44
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>46</b>
3.1	Descrição do Protótipo	46
3.2	Conversor de energia	47
3.2.1	Plataforma	48
3.3	Retificador	52
3.4	Resistor shunt e Medidor de Tensão	53
3.5	Armazenamento	54
3.6	LTC3588	55
3.7	Circuitos	56
<b>4</b>	<b>TESTES E RESULTADOS ALCANÇADOS</b>	<b>57</b>
4.1	Dados da energia gerada	57
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>64</b>
5.1	Conclusões	64



<b>5.2 Propostas de trabalhos futuros .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE A – CODIGO SEMÁFORO .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É indiscutível que hodiernamente o crescente avanço tecnológico e a necessidade de sustentabilidade do meio ambiente reflitam na necessidade de utilização de ENERGIAS ALTERNATIVAS.

Atualmente tem-se discutido muito no Brasil sobre a necessidade de se diversificar o parque energético atual (SILVA; CARVALHO, 2002). A busca por um meio ambiente mais sustentável é uma necessidade mundial.

Conforme menciona, Walter F. Molina (2015. p.310) “*O mundo enfrenta grandes mudanças no mercado energético*”. Em consonância com o assunto o site Finder Componentes LTDA (2011) dispõe:

Atualmente podemos dividir a produção de energia em duas categorias, as energias renováveis e as não renováveis, onde as renováveis são fontes de energia que utilizam recursos naturais considerados inesgotáveis pela sua capacidade de regenerar.

A definição de energia alternativa é aquela que se utiliza do uso de fontes naturais e renováveis, pouco ou não poluentes. Essas fontes **alternativas de energias renováveis**, seriam mais vantajosas para diminuir a agressão do meio ambiente e de alguma forma contribuir positivamente com a matriz energética, pois com a degradação do meio ambiente o mundo poderá sofrer sérios problemas energéticos no futuro. Sobre o tema Guilherme Crippa Ursaia (2011) enfatiza que:

Em relação aos recursos não renováveis, ênfase aos combustíveis fósseis, a sustentabilidade apresenta-se como uma questão de tempo, pois, ocorrendo uma exploração continuada de tais fontes, os seus limites físicos serão eventualmente esgotados.

Com a tecnologia a nosso favor, cada vez mais os estudantes, pesquisadores, cientistas e a própria sociedade tem buscado novas tecnologias para a utilização de energia limpa para seu funcionamento. As fontes de energias alternativas são

diversas, e se bem utilizadas diminuem a dependência das fontes tradicionais, que por muitas vezes são controladas por empresas estrangeiras.

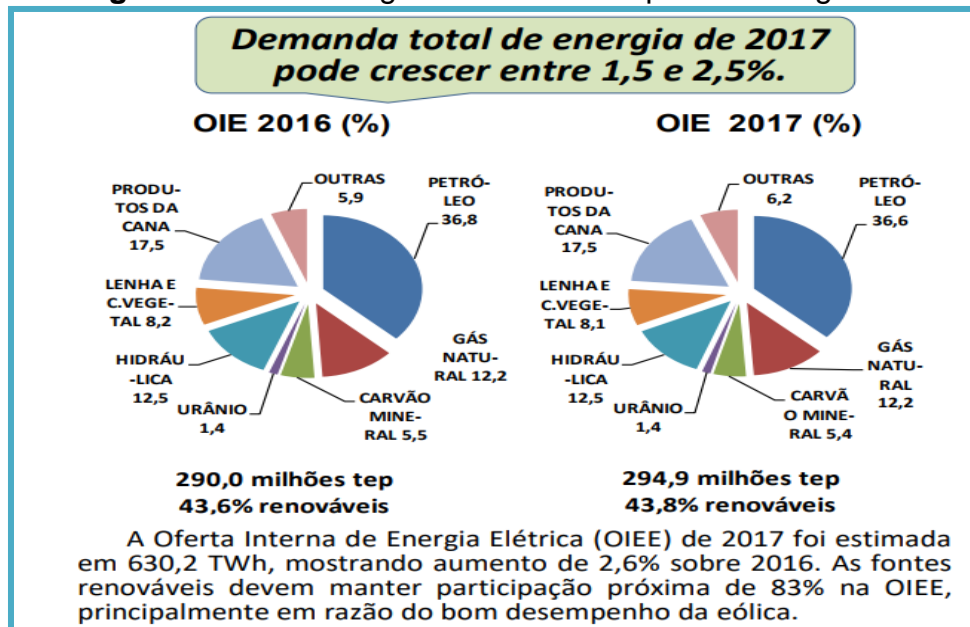
As fontes tradicionais de energia são, petróleo, gás natural e carvão mineral. Já as **fontes alternativas de energia**, são:

- **Energia eólica** → gerada a partir do vento;
- **Energia solar** → gerada a partir dos raios solares;
- **Energia geotérmica** → obtida a partir do calor contida nas camadas mais profundas da terra;
- **Energia maremotriz (das marés)** → gerada a partir da energia contida nas ondas do mar;
- **Biomassa** → obtida a partir de matéria orgânica, principalmente de origem vegetal como, por exemplo, cana-de-açúcar;
- **Nuclear** → gerada através do processo de fissão do núcleo do átomo de urânio enriquecido;
- **Biogás** → obtido dos gases provenientes da decomposição de resíduos orgânicos;

O Brasil usa poucas fontes alternativas, embora tenha muitos recursos naturais a pouco investimento do governo. Grande parte da energia elétrica do Brasil tem como origem as usinas hidrelétricas. (PORTAL BRASIL, 2014).

Conforme a figura 1.1, podemos analisar a demanda de energia entre os anos de 2016 e 2017:

**Figura 1.1-** Porcentagem de oferta de tipos de energias no Brasil



FONTE:

<<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/7994286/Boletim+Mensal+de+Energia+jan+2017.pdf/f9f255a3-7c0e-491d-8f6a-672907692b77>>. Acesso em: 22 Out. 2017

Mesmo com o investimento após o ano de 2001, quando ocorreu o apagão. No ano de 2014, o Brasil sofreu com a crise hídrica, que ocorreu devido à falta de chuvas, ocasionando racionamento e aumento na conta de energia elétrica da população. (PINTO, S.D.)

**Figura 1.2-** Crise energética na década de 2000. Planejamento Energético do Brasil e Iminência de uma Nova Crise no Setor – Apagão



FONTE: Imagem adaptada de: <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/planejamento-energetico-brasil-iminencia-uma-nova-crise-no-setor-apagao.htm>>. Acesso em: 22 Out. 2017

Mesmo com a crise hídrica que sofreu e demonstrou a fragilidade de confiar em apenas um recurso de energia, o Brasil é um dos países que mais utilizam energias renováveis para produção de energia elétrica. Também possuem um programa de uso de etanol, embora seja dependente do uso de combustíveis fósseis (gasolina e diesel), que além de contribuir com a poluição do ar, são consideradas fontes não renováveis.

Enfim, o Brasil tem investido nas últimas décadas no uso de duas importantes energias alternativas que é a eólica e a solar, mas as contribuições governamentais para o aumento da utilização de energias alternativas são mínimas. Estudantes, pesquisadores, cientistas e a população tem aguardado maior investimento do governo para o uso dessas fontes alternativas em nossa matriz energética.

Segue imagens de energia eólica e maremotriz:

**Figura 1.3** - Foto eólica Renato Aguiar e Foto hidrelétrica Felipe Tapia



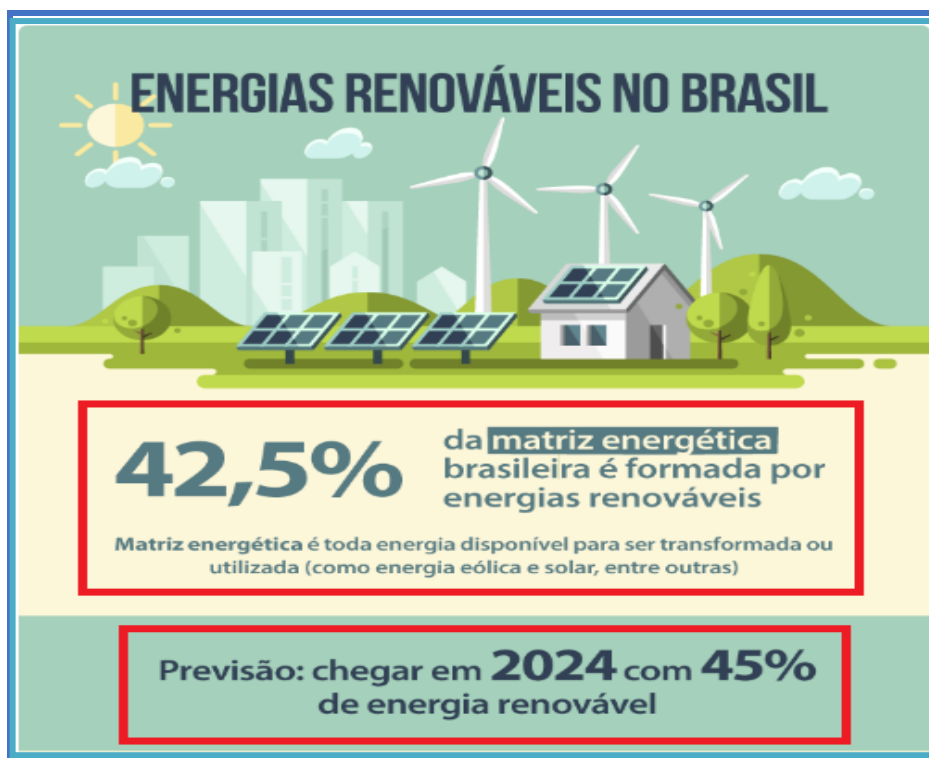
FONTE: Imagem adaptada de: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017)>. Acesso em 23 Out. 2017

O Brasil é um dos países que mais utiliza energias renováveis para produção de energia elétrica. As fontes de energia renováveis mais utilizadas no Brasil são: hidrelétrica, eólica, solar e biomassa/ biocombustíveis. (GUSTAVO, 2016)

Com a atual crise hídrica no Brasil e tendo como base que grande parte da energia produzida vem de hidroelétricas, essa crise coloca em evidência a fragilidade do sistema de abastecimento. (MOREIRA FILHO, 2014)

Dando enfoque nas energias renováveis podemos verificar na figura 1.4 o avanço esperado até 2024 na matriz energética brasileira.

**Figura 1.4** -Porcentagem de energia renováveis no Brasil



FONTE: Imagem adaptada de: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/11/InfograficoEnergiaRenovavelV2.png>>. Acesso em: 23 Out. 2017

A responsabilidade no Brasil é posta em destaque pelo autor Joel Gomes Moreira Filho (2014) com base nos seguintes argumentos:

Além do período de estiagem, outro grande responsável pela situação que vivemos no Brasil é o governo federal, que diferentemente de outros países, não fez investimentos em variadas formas de usinas, se tornando refém de um único tipo de abastecimento.

Além dessas energias existem outras que não tem grande eficiência, mas são promissoras para pequenas cargas, que sendo implantadas em grande escala podem trazer um retorno econômico e contribuir para a sustentabilidade do meio ambiente.

Considerando isso, é notório a necessidade por novas alternativas de energia. Diante deste cenário, irei abordar a utilização de **pastilhas piezoelétricas como fonte de energia alternativa**. Além de ser uma energia limpa e renovável, pode ser

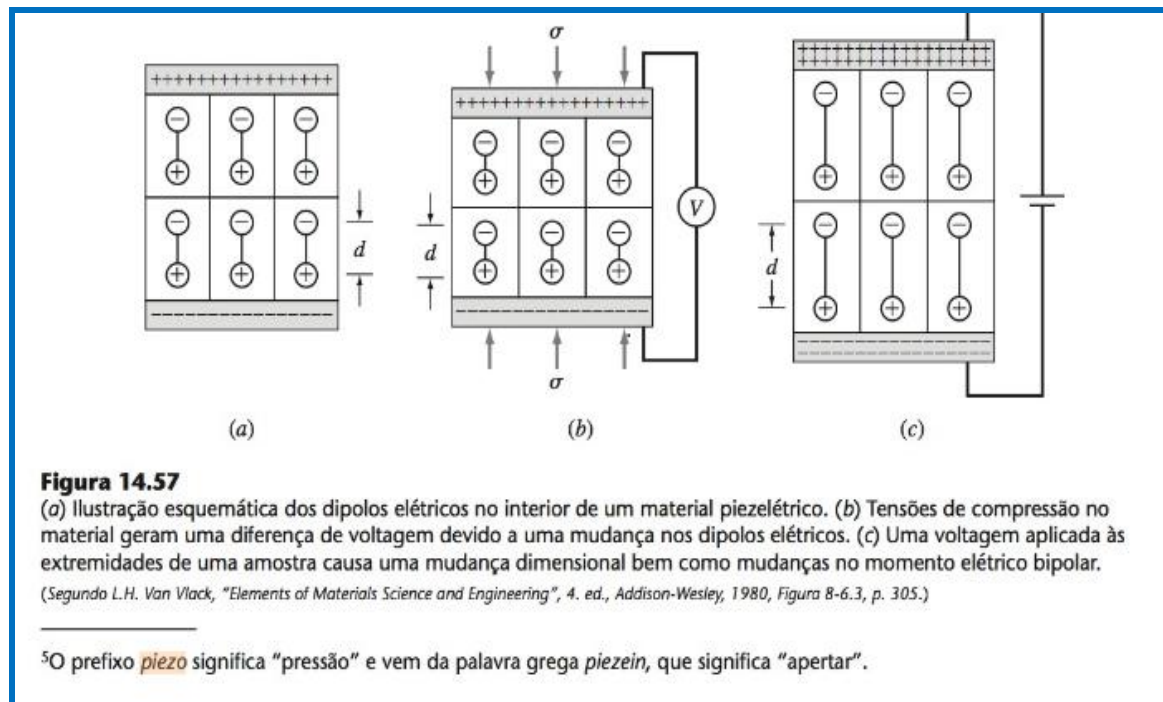
um avanço para áreas de difícil acesso da chegada de fontes de energias tradicionais, pois podem ser consideradas boas auxiliadoras de unidades geradoras.

As pastilhas piezoelétricas são cada vez mais usadas em aplicações eletrônicas da robótica e da mecatrônica. Essas aplicações vão desde sensores e tradutores até ressonadores que determinam a frequência de operação de instrumentos de medida, cronômetros, relógios e principalmente microprocessadores. Possuem propriedades de estrutura cristalina iônica que provêm da natureza, estes materiais fazem parte do domínio cerâmicos ferroelétricos. Alguns destes materiais cerâmicos cristalinos iônicos possuem células unitárias sem centro de simetria e, conseqüentemente, suas células unitárias contêm um pequeno dipolo elétrico, sendo então denominadas ferroelétricas. (OLIVEIRA, 2013, p. 574).

Assim, um desses materiais que tem uma importância satisfatória na indústria é o titanato de bário ( $\text{BaTiO}_3$ ). Em grande escala, este material cerâmico, titanato de bário sódio, possui uma estrutura de domínios em pequenos dipolos elétricos das células unitárias que se alinham em uma dada direção, da qual acontece o momento bipolar resultando uma unidade volumétrica desse material é a soma dos pequenos momentos bipolares das células unitárias. Este é o **efeito piezoelétrico (PZT)**, o titano de bário e muitos outros materiais cerâmicos como: cristal de quartzo e sal de rochelle exibem esse efeito. (OLIVEIRA, 2013, p. 574).

A fim de ilustrar o que foi exposto, segue a figura 1.5 que demonstra um excesso de carga positiva em uma extremidade e um excesso de carga negativa na outra extremidade na direção de polarização. Com a mudança no momento bipolar do material faz mudar a densidade de carga nas extremidades da amostra, provocando uma variação na diferença de voltagem entre as extremidades se elas estiverem isoladas uma da outra.

**Figura 1.5 -Dipolos Elétricos**



FONTE: Imagem adaptada de: (Figura 14.57 pág. 574 Livro OS MATERIAIS INTELIGENTES E SUAS APLICAÇÕES)

Acerca das cerâmicas piezoelétricas tem-se o entendimento do autor Hashemi & William (2012, p. 575):

As cerâmicas piezoelétricas têm muitas aplicações industriais. Exemplos para o caso de conversão de forças mecânicas em respostas elétricas são os acelerômetros de compressão piezoelétricos, que conseguem medir acelerações vibratórias em uma ampla faixa de frequências, e a agulha de um fonógrafo, que gera respostas elétricas a partir de sua vibração nas ranhuras de gravação. Um exemplo para o caso de conversão de forças elétricas em respostas mecânicas é o transdutor de limpeza ultrassônica, que é feito vibrar por uma potência de entrada CA de modo a induzir intensa agitação do líquido em um tanque. Outro exemplo deste tipo é o transdutor de ultrassom subaquático, no qual a potência elétrica de entrada o faz vibrar e assim transmitir ondas sonoras.

Esse projeto apresenta a utilização de uma energia alternativa que ocorrerá através da conversão da deformação mecânica (deslocamento/força) em energia elétrica, por meio dos transdutores de pastilhas piezoelétricas (prefixo piezo significa "pressão" e vem da palavra grega piezein, que significa "apertar"). **Essa transformação de energia mecânica em energia elétrica servirá para alimentar**



**as luzes semafóricas da maquete**, além de contribuir com a sustentabilidade do meio ambiente, trará uma alternativa em um ambiente específico, como nesse caso serão os sinais de trânsito.

Será desenvolvido um protótipo (maquete) com um sistema de energia limpa e renovável através de sensores piezoeletrônicos, que gerará energia com a passagem de carros pelo transdutor, assim gerando uma diferença de potencial. Essa energia será armazenada em uma bateria e utilizada para alimentar as luzes semafóricas. A proposta em questão é produzir um dispositivo que deforme várias pastilhas ao mesmo tempo gerando energia, essa energia será medida através de um driver que meça corrente e tensão, nesse driver será utilizado um Arduíno como microcontrolador junto a ele será necessário utilizar um sensor de corrente (resistor shunt) e de tensão isso possibilitará o monitoramento do sistema e irá facilitar no estudo que relacione a diferença de potencial com a área da pastilha.

Neste estudo, é desenvolvida uma pesquisa que adiciona uma alternativa para o grande problema que a sociedade vem enfrentado que é a dependência da energia provida do petróleo, pois é perceptiva a necessidade de novos meios de energia, que a cada dia se aproxima de um colapso energético devido a degradação das fontes naturais, é imprescindível que se desenvolva pesquisas e trabalhos em busca de novas alternativas de energia. As pastilhas piezoelétricas podem ser utilizadas em diversas áreas, pois podem levar energia em áreas de difícil acesso.

A utilização de pastilhas piezoelétricas, proporcionará alimentar uma pequena carga de energia, através de pressão, tensão, solicitação mecânica e elétrica. Este fenômeno é basicamente a transformação de energia de origem mecânica em elétrica e vice-versa. (MARTENDAL, 2016).

Nas pastilhas, que serão utilizadas, pode-se verificar através de testes em um osciloscópio que um único disco de 35mm em vazio ou seja sem carga é capaz de gerar 11 Volts pico a pico. Quando se utiliza um resistor de 2,2 Kohms como carga, a tensão varia de 2,2 à 5 Volts. Com o sinal retificado apresenta uma corrente de 1mA,

será demonstrado nos próximos capítulos como é feita essa retificação.

A diversificação de fontes de energia alternativa tira do país a dependência das fontes tradicionais e trazem soluções para situações de degradação. Tudo isso será abordado no decorrer dos próximos capítulos.

Nesse cenário, o trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema capaz de gerar energia para alimentar uma carga baixa por meio de transdutores piezoelétricos, trazendo uma nova forma de energia limpa e de baixo impacto ambiental.

## **1.1 Objetivo Geral**

O projeto aqui proposto tem como finalidade desenvolver um sistema capaz de gerar energia, através de um dispositivo que capte a energia mecânica gerada pelo movimento e a converta em energia elétrica. Com essa energia será possível alimentar as luzes semaforicas de uma maquete.

### **1.1.2 Objetivo Específico**

- Pesquisar tecnologias piezoelétricas, métodos de captação de energia mecânica;
- Avaliar o funcionamento das pastilhas piezoelétricos;
- Analisar a melhor forma de posicionar as pastilhas, se em série, paralelo ou misto;
- Estudo das pastilhas pela área de acordo com os tamanhos de 15mm, 20 mm, 27 mm e 35mm. Com isso demonstrar a diferença de tensão;
- Elaborar driver de medição, para medir a tensão e corrente que será gerada;
- Produzir em uma plataforma as pastilhas piezoelétricas para que quando pressionada sejam capazes de deformar as pastilhas piezoelétricas, formando energia mecânica em energia alternativa;

- Criar uma maquete onde terá um semáforo, onde será acoplada a plataforma com as pastilhas piezolétricas;
- Desenvolver ponte de diodos para converter sinal de alternado para contínuo;
- Carregar bateria com energia gerada pelas pastilhas piezoelétricas;
- Alimentar luzes semaforicas com a bateria;
- Efetuar testes no protótipo final;

## **1.2 Motivação**

Em um cenário de crise energética onde todos os combustíveis fósseis estão se esgotando devido à alta demanda, a utilização de energias renováveis tem grande importância para a sociedade. Com o crescente número de pesquisas voltadas para o desenvolvimento e aprimoramento de fontes de energia alternativa (GRANDELLE, 2016), o estudo das pastilhas piezoelétricas tem se tornado cada vez mais atrativo aos pesquisadores.

Com a possibilidade de se aproveitar a enorme quantidade de energia perdida por veículos em forma de calor e atrito, o transdutor piezoelétrico se encaixa no contexto, visto que o mesmo pode reagir à deformação gerada pela força peso dos veículos e, em contrapartida, converter a energia absorvida em energia elétrica para possíveis reaproveitamentos.

## **1.3 Metodologia**

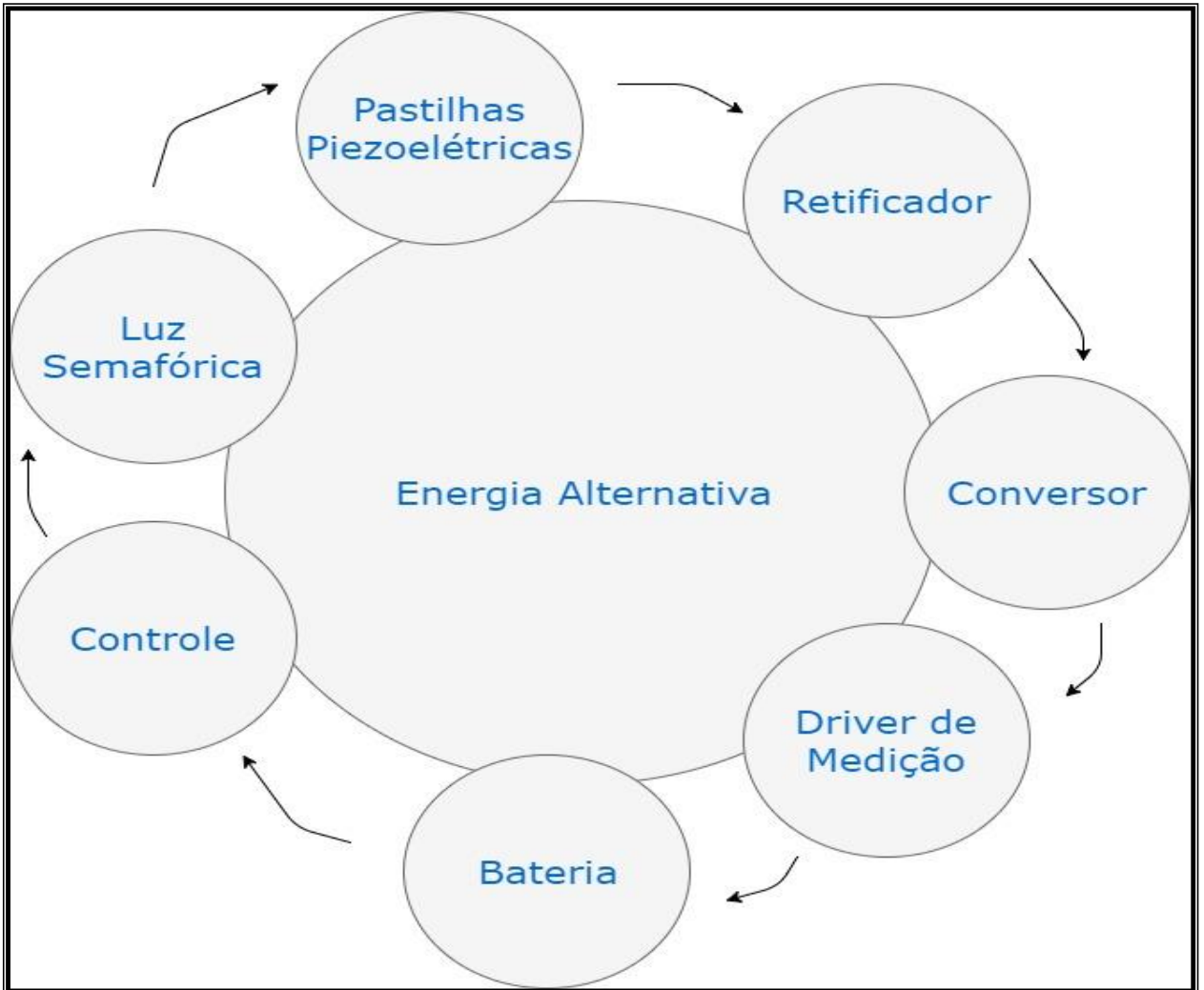
Estabelecer a forma de desenvolvimento e implementação do artigo é de suma importância para o correto desenvolvimento da pesquisa. Nesse cenário, como metodologia para desenvolvimento do projeto proposto, o sistema é dividido nas seguintes etapas:

- A primeira etapa é constituída dos estudos sobre o funcionamento teórico e físico das pastilhas piezoelétricas, melhores formas de acionamento, eficiência do transdutor e possíveis circuitos auxiliares.

- A segunda etapa está correlacionada a análise da forma de posicionar as pastilhas, se em série, paralelo ou misto, será feito testes onde será possível verificar qual a melhor posição a ser utilizada e qual possui melhor eficiência.
- A terceira etapa se trata do estudo das pastilhas pela área de acordo com os tamanhos. Serão feitos 04 PACK's, cada uma com 10 pastilhas de um mesmo tamanho e será verificada a diferença de tensão e corrente de acordo com as áreas das pastilhas.
- Na quarta etapa será elaborado um driver para medição de tensão e corrente gerada, sendo embasada através do desenvolvimento de um circuito que possibilite a leitura e exibição dos valores coletados das pastilhas, A partir deste momento será constatado ou não a metodologia de acionamento do transdutor que foi tratado no tópico anterior. A particularidade do trabalho em desenvolvimento começará a se desenvolver a partir deste, onde iniciará à coleta de dados para o estudo de caso. Com isso utilizará o Arduíno como microcontrolador.
- Na quinta etapa será produzida uma plataforma para colocação das pastilhas piezoelétricas para a transformação de energia mecânica em elétrica.
- A sexta etapa será criado uma maquete onde terá um semáforo, e acoplado a plataforma com as pastilhas.
- A sétima etapa será desenvolvido uma ponte de diodos para converter os sinais de alternados para contínuo. A ponte de diodo será desenvolvida com o diodo 1N4007.
- A oitava e nona etapa consiste em carregar a bateria com a energia gerada pelas pastilhas piezoelétricas e alimentar as luzes semafóricas.
- Por fim, a décima etapa consiste nos testes do sistema como um todo. Logo será testado seu comportamento em uso casual e de possíveis falhas. Caso alguma falha seja identificada, a mesma será tratada e os testes deste tópico serão repetidos.

A figura 1.6 mostra um diagrama dos processos do projeto:

**Figura 1.6-Diagrama de processos**



FONTE: Produzido pelo autor

- 1º módulo - **pastilhas piezoelétricas**

O módulo piezoelétrico representa um tablado, que simulará o asfalto, onde serão embutidas pastilhas piezoelétricas, que receberá em determinados momentos peso, que representa veículos e com isso sofrerá deformações, gerando energia para alimentar a carga.

Também será utilizado um limitador para que as pastilhas não se partam e suportem determinadas cargas

- 2º módulo - **retificador**  
O módulo retificador consiste em díodos que são responsáveis pela transformação de sinais de pulsos, transformando sinais alternados (AC) em contínuos (DC), necessários para a carga da bateria.
- 3º módulo - **conversor**  
O módulo conversor é o encarregado de controlar os níveis de sinais de correntes contínuas para que assim possam carregar o banco de baterias do módulo posterior.
- 4º módulo - **driver de medição**  
O módulo driver de medição é o responsável por medir a energia gerada pelo tablado, através de microcontrolador Arduíno e sensores de tensão e corrente.
- 5º módulo - **bateria**  
O módulo bateria será incumbido de armazenar a energia gerada no tablado, e depois alimentar as luzes semafóricas. Isso ocorre devido aos módulos **retificadores e conversores**, modificarem o sinal elétrico que gera e fornece energia para o banco de baterias.
- 6º módulo - **controle**  
O módulo controle é encarregado de gerenciar as informações do banco de baterias.
- 7º módulo - **luz semafórica**  
O módulo luz semafórica é a carga que será alimentada, da qual consiste em LED's em um pequeno sistema que simula o semáforo.

## 1.4 Resultados Esperados

É almejada a geração de uma energia renovável e limpa através da passagem de veículos que será simulada pela pressão aplicada no tablado essa pressão deformará as pastilhas transformando energia mecânica em energia elétrica pelos sensores piezoelétricos e assim possibilite através de cálculos de gastos e geração a viabilidade do projeto.

## **1.5 Trabalhos Correlatos**

André Luiz Gomes Ferreira (2015) realizou um trabalho nesta área, o objetivo de seu artigo foi desenvolver um mecanismo que capte a energia mecânica gerada pelas passadas humanas e as converta em energia elétrica, fazendo assim ser possível carregar uma bateria para ser utilizada para carregar um celular.

Edinaldo Jesus, Jeferson Diego, Lucas Borba e Vinicius Mota (2016) também realizaram um projeto nessa área objetivo deles era converter energia mecânica em elétrica através de um piso gerador em ambientes públicos de grande movimentação, tais como: Estações de trem, metros, ônibus, shoppings etc.

Já o projeto proposto prevê armazenar essa energia e utiliza-la para iluminação semafórica. Convertendo a energia com a passagem dos carros em energia elétrica.

## **1.6 Organização da Monografia**

O desenvolvimento da monografia será disposto da seguinte maneira, capítulo um é a introdução do projeto onde se mostra uma visão geral do tema, objetivos do projeto, motivações e resultados esperados. No capítulo dois será abordado o referencial teórico para possibilitar um melhor entendimento do projeto e como funciona a solução apresentada. O capítulo três apresentará de forma detalhada a proposta, especificando os processos de desenvolvimento do projeto. O capítulo quatro abordará o estudo dos resultados obtidos através do sistema proposto. No capítulo cinco encerra-se o trabalho com as conclusões que foram desenvolvidas no decorrer do projeto e as sugestões para projetos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

No capítulo 02, será abordado todo o levantamento e análise de dados para a realização da pesquisa sobre energias alternativas, como o conceito, a aplicação e a importância da busca de novas fontes de geração de energia, na escassez em que o mundo se encontra.

A energia vem do termo ergos do grego que significa trabalho, ou seja, energia significa trabalho em determinado espaço de tempo. Podemos verificar na equação 2.1 (ESTEVIÃO, 2014) a definição matemática deste conceito.

$$E = P \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

Onde: E= energia, P = potência e  $\Delta t$  = Variação no tempo.

A energia é medida por Joule (J), a potência por Watts (W) e tempo por segundos (s).

A **energia elétrica** é uma das mais utilizadas no mundo, é fundamentada através da produção de diferenças de potencial elétrico, possibilitando o estabelecimento de uma corrente elétrica. É gerada de diversas maneiras, seja alternativa ou não. A mais utilizada é nas usinas hidrelétricas, através da água, também pode ser gerada através das usinas eólicas, termoelétricas, solares, nucleares entre outras. (GUSTAVO, 2016)

Através de estudos e pesquisas quanto a necessidade de novas alternativas de energias, pretendo fundamentar esse projeto através da viabilização de energia limpa e sustentável, utilizando pastilhas piezoelétricas, como fonte de energia alternativa, podendo contribuir na alimentação de pequenas cargas, como exemplo lugares de difícil acesso de recebimento de energia. Teoricamente, apresenta facilidade, mas no contexto, não é, deve ser originado efetivas pesquisas e testes para tornar-se viável.



Sobre os ensinamentos de Lineu Belico dos Reis (2011) tem-se o que segue:

A questão energética tem um significado bastante relevante no contexto ambiental e na busca pelo desenvolvimento sustentável. Na verdade, ela tem influenciado muito as mudanças de paradigma que estão ocorrendo na humanidade, principalmente por dois motivos. Primeiro, porque o suprimento eficiente e confiável de energia é considerado uma das condições básicas para o desenvolvimento econômico; sem dúvida, isso ficou bem claro na década de 1970 devido aos choques da crise do petróleo. Portanto, deveria ser natural que a questão energética – juntamente de outros setores de infraestrutura como água e saneamento, transporte e telecomunicação – fizesse parte da agenda estratégica de todo e qualquer país. Segundo, porque vários problemas e desastres ecológicos e humanos das últimas décadas têm relação íntima com o suprimento de energia, oferecendo assim motivação e argumentos em favor do desenvolvimento sustentável.

## **2.1 Materiais inteligentes**

Materiais inteligentes são elementos que possuem uma ou mais propriedades que podem ser alteradas de forma controlada através estímulos externos, tais como: stress mecânico, mudanças de temperatura, de PH, eletricidade, campos magnéticos (LCD, 2017).

A geração de energia limpa, sustentável e de baixo custo tem sido uma preocupação mundial, devido a sua importância e possíveis impactos ambientais. Cada tecnologia tem um impacto diferente sobre a natureza. (FRASÃO; BARRA; MENICONI, 2011)

Por isso, tais materiais tendem a se comportar como estruturas biológicas, sendo assim, espera-se que os mesmos possam ser estruturados para, por exemplo, selarem rachaduras em uma ponte, assim reforçando-a ou até mesmo se aplicando em materiais que apresentam algum tipo de resposta ao sofrerem esforço mecânico (MACIEL, 2011).

A necessidade de buscar novas fontes de energias e principalmente materiais

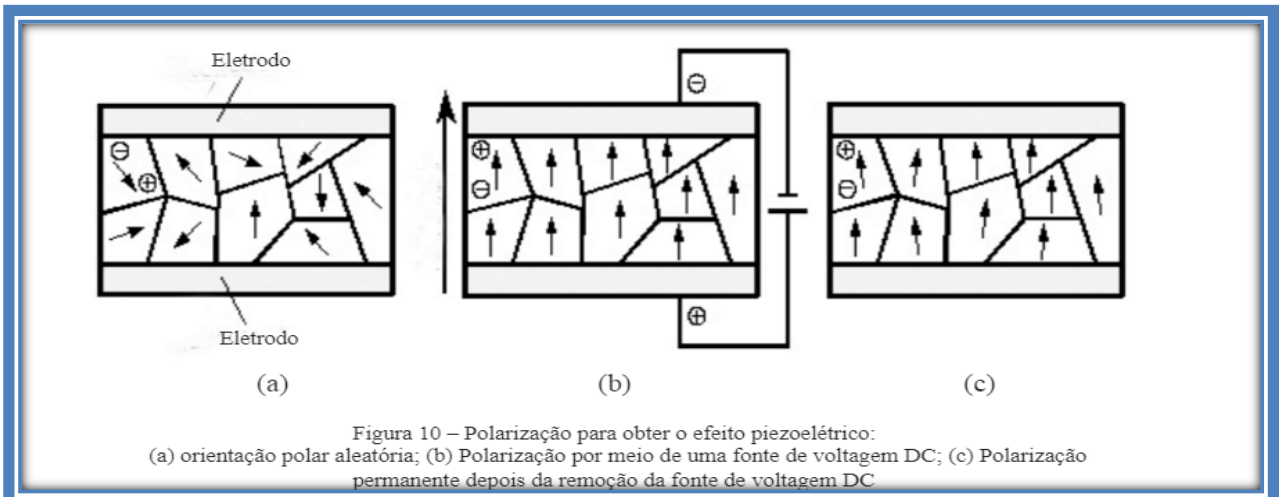
inteligentes, onde pode se comparar custos e viabilidade para cada tipo de energia a ser utilizada. Seu uso permite sistemas mais eficientes e versáteis com reflexos na qualidade de vida, segurança e inovação.

No geral, existem vários materiais pertencentes a categoria de materiais inteligentes, porém vale destacar os mais utilizados atualmente, como:

- **Ligas com memória de forma (SMAs):** apresentam um acoplamento termomecânico que lhe dá capacidade de recuperar uma forma previamente definida a partir de um processo de carregamento termomecânico apropriado. Quando há uma restrição para a recuperação de forma essas ligas promovem forças de restrição elevadas; (OLIVEIRA; SAVI, 2013)

- **Piezoelétricos:** é fundado na indução de um dipolo elétrico. Essa classe apresenta um acoplamento eletromecânico recíproco, ou seja, uma vez que um campo elétrico é aplicado, o material apresenta uma deformação mecânica, por outro lado, quando o material sofre uma carga mecânica, um potencial elétrico é gerado. Essa reciprocidade permite que esse tipo de material possa ser utilizado como sensores ou atuadores em estruturas inteligentes. Os piezoelétricos se destacam por dois comportamentos, o efeito direto que transforma a tensão mecânica em uma fonte de voltagem externa em energia de deformação mecânica (deslocamento  $\rightarrow$  força), as altas temperaturas normalmente definidas acima da temperatura de Curie, o material é paraelétrico, não polarizado. Para baixas temperaturas, as moléculas sofrem uma mudança cristalográfica, originando dipolos orientados aleatoriamente em toda a estrutura. A Aplicação de um campo elétrico, levando a uma manifestação de dipolo elétrico em escala macroscópica. Com a remoção do campo elétrico, os dipolos não retornam à sua configuração original, permanecendo orientados. Esse processo gera um corpo piezoelétrico permanente, com o eixo de polarização estabelecido conforme pode ser verificado na figura 2.1. (OLIVEIRA;SAVI, 2013)

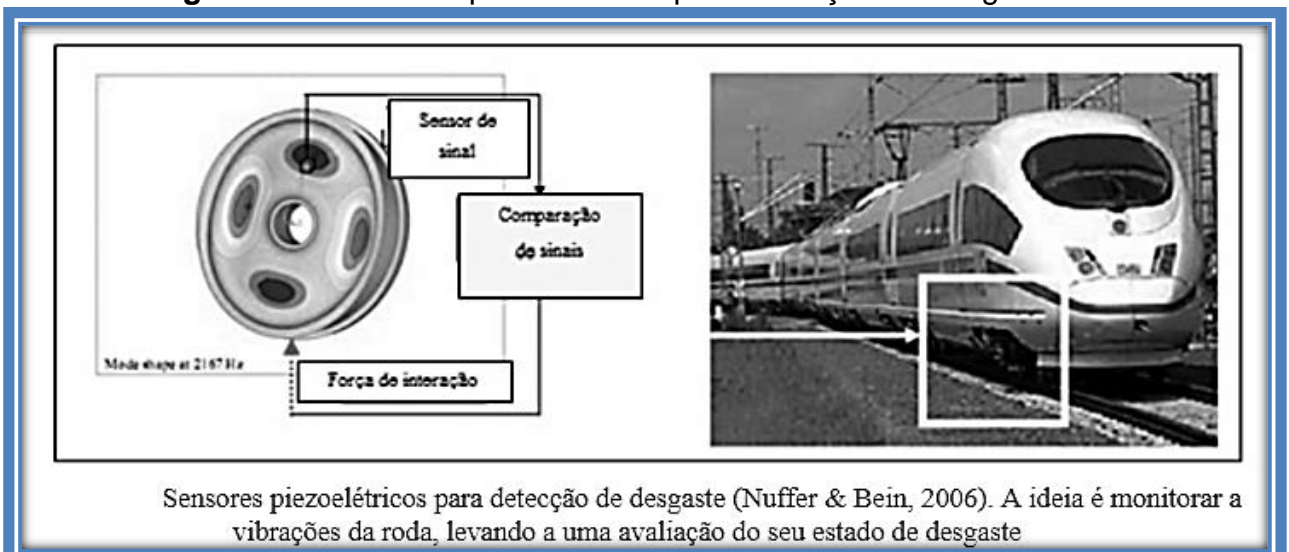
**Figura 2.1-** Polarização para obter o efeito piezoelétrico:(a) orientação polar aleatória; (b) Polarização por meio de uma fonte de voltagem DC; (c) Polarização permanente depois da remoção da fonte de voltagem DC



FONTE: Imagem adaptada de: <[https://www.researchgate.net/publication/282480381\\_Os\\_Materiais\\_Inteligentes\\_e\\_suas\\_Aplicacoes](https://www.researchgate.net/publication/282480381_Os_Materiais_Inteligentes_e_suas_Aplicacoes)>. Acesso em: 26 Out. 2017

Na figura 2.2 pode-se verificar aplicações dos Materiais Piezoelétricos que são rotineiramente usados como sensores e atuadores para variadas funcionalidades.

**Figura 2.2-** Sensores piezoelétricos para detecção de desgaste



FONTE: Imagem adaptada de: <[https://www.researchgate.net/publication/282480381\\_Os\\_Materiais\\_Inteligentes\\_e\\_suas\\_Aplicacoes](https://www.researchgate.net/publication/282480381_Os_Materiais_Inteligentes_e_suas_Aplicacoes)>. Acesso em: 25 Out. 2017

A figura 2.2 apresenta a ideia dos sensores para detecção de desgaste. A monitoração da integridade estrutural (structural health monitoring) é uma aplicação de piezoelétricos que vem conquistando muita notoriedade especialmente na aeronáutica e aeroespacial. Diversos estudos estão considerando o uso adequado dos sensores para identificação de danos. A correção de temperatura é um aspecto importante a ser considerado. (MAIO, 2011).

### **2.1.1 Colheita de Energia (Energy Harvesting)**

O termo Energy Harvesting que vem do inglês (Colheita de Energia) é uma vertente promissora para alimentar equipamentos eletrônicos de forma que a miniaturização possibilite um consumo menor de eletricidade. (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2014).

A utilização de energia limpa e sustentável tem sido temas de discussão entre diversos estudantes, curiosos e pesquisadores. O uso de pastilhas piezoelétricas na geração de energia tem sido um desafio, os chamados nano geradores que podem ter aplicação em locais onde existam vibrações, como em equipamentos industriais, motores ou até mesmo no corpo humano, onde a pressão arterial, a respiração ou os batimentos cardíacos. Com isso as propostas de armazenamento e geração de energia apresentada, têm surgido o conceito de **Energy Harvesting**. (CAIADO, 2016).

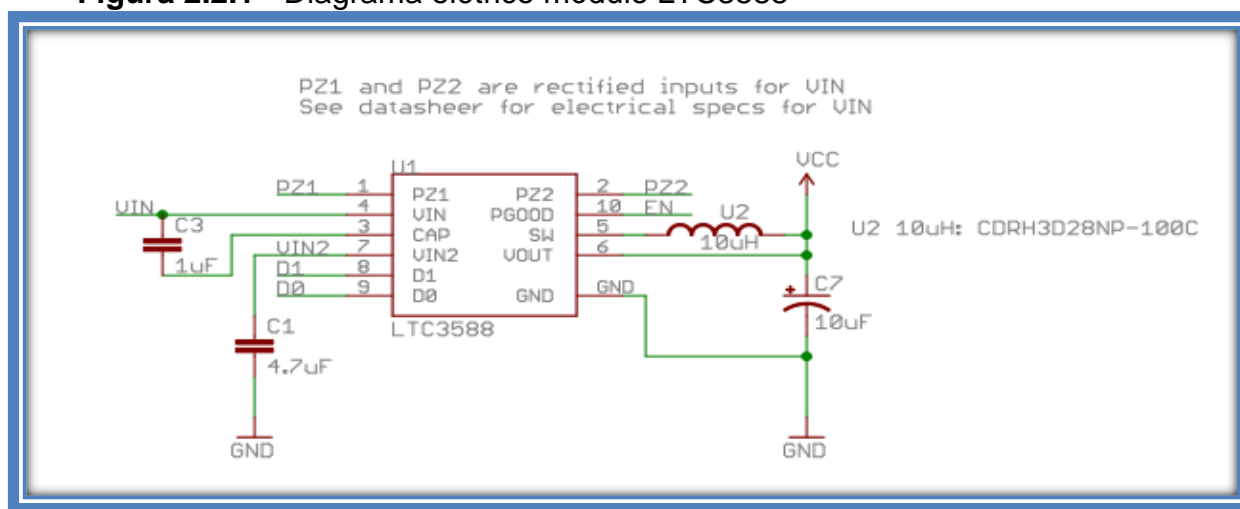
Isso ocorre através da retirada de energia de fontes externas (solar, térmica, eólica, cinética, ondas, vibração, etc.), captada e armazenada para aparelhos pequenos, autônomos e sem fio, provendo uma pequena quantidade de energia para eletrônicos de baixa-energia, e com isso possibilitar o armazenamento através da conversão de vibração. (PERLINGEIRO, PIMENTA; SALVINO DA SILVA, 2016)

No projeto será utilizado um módulo de Energy Harvesting chamado LTC3588 esse módulo é um gerenciador de cargas baixas.

Segundo o fabricante (LINEAR TECHNOLOGY) esse módulo possui uma ponte retificadora interna de baixa perda junto a um conversor buck de alta eficiência.

A figura 2.2.1 mostra o esquema elétrico desse módulo.

**Figura 2.2.1 - Diagrama elétrico módulo LTC3588**



FONTE:

Imagem

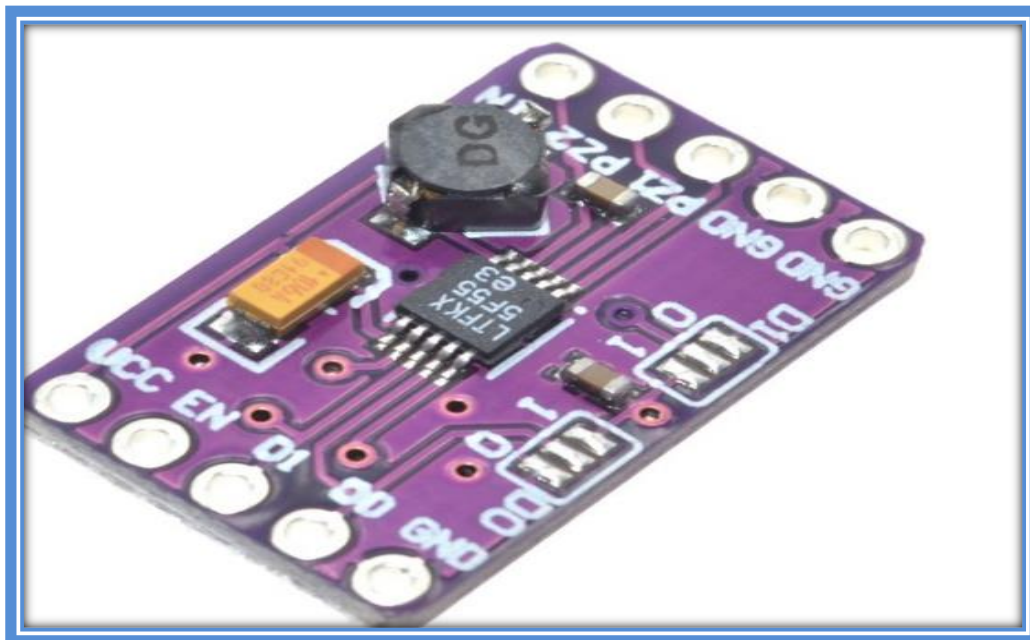
retirada

de: <[https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=486](https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=486)>. Acesso em: 28 Out. 2017

Onde o Pino 1 e 2 representam a entrada das pastilhas piezoelétricas, o pino 3 representa um trilho interno referenciado para o Vin ele serve como uma porta o fabricante (LINEAR TECHNOLOGY) informa que deve ser conectado um capacitor de 1  $\mu\text{F}$  entre a porta 3 e Vin, o pino 4 retifica a tensão de entrada ele funciona como um reservatório de energia e fornecimento de entrada para o regulador Buck essa tensão é fixada internamente a um valor máximo de 20 V, o pino 5 possui um interrupto para o regulador de comutação Buck ele possui um indutor de 10 $\mu\text{h}$  conectado entre ele e o Sw, no pino 6 é um pino para feedback interno, ele é usado para monitorar a tensão de saída, o pino 7 é um pino de baixa tensão interno ele serve como driver de porta para o buck ele utiliza um capacitor de 4.7  $\mu\text{F}$  entre o pino e o GND, já o pino 8 e 9 define o Vout desejado.

A figura 2.2.2 mostra o módulo LTC3588.

**Figura 2.2.2-** Módulo LTC3588



FONTE: Imagem retirada de: <<https://pt.aliexpress.com/item/LTC-3588-Energy-Harvester-Breakout-LTC3588-1-module/32809210250.html>>. Acesso em: 28 Out.2017

### **2.1.2 Transdutor piezoelétrico**

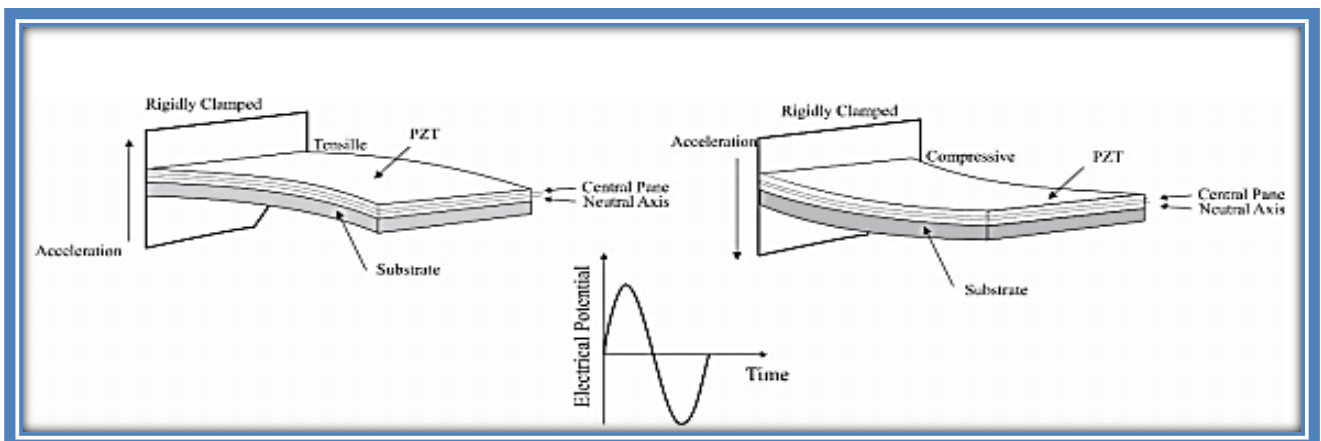
A ideia básica é simples: um transdutor piezoelétrico gera um sinal elétrico quando deformado. Se a força que o levar a essa alteração de forma fizer com que ele vibre, teremos a produção de sinais elétricos constantemente, ou seja, ele produzirá uma tensão alternada. Essa tensão, que pode alimentar um circuito externo, nada mais é do que o resultado da conversão de energia mecânica (vibratória) em energia elétrica. (BRAGA, 2017a)

Assim pode-se aproveitar qualquer tipo de vibração que o corpo possa sofrer, ou seja, sua aplicação vai desde pistas de dança a estruturas industriais. Assim o sistema corretamente dimensionado pode suprir cargas que tenham demanda superior a alguns poucos Watts. (BRAGA, 2017a)

O efeito piezoelétrico já tem sido utilizado nas áreas da medicina, como aparelhos de ultrassom, eletroterapia e outros também são utilizados em amplificadores sonoras, balanças, sensores, ampliações tecnológicas, transformadores, produção de energia e outras coisas. A piezeletricidade caracteriza na habilidade de alguns cristais que geram carga elétrica através do peso, pressão e tensão que recebem e deformam-se gerando eletricidade, porém podem ter efeito reverso quando ocorre geração interna de uma tensão mecânica resultante de um campo elétrico aplicado. Como exemplo são: os cristais de titanato zirconato de chumbo que gerarão piezoeletricidade mensurável quando sua estrutura estática é deformada por cerca de 0,1% da dimensão inicial, por outro lado, esses mesmos cristais mudam cerca de 0,1% da sua dimensão estática quando um campo elétrico externo é aplicado ao material. O efeito piezolelétrico inverso é usado na produção de ondas ultrassonoras. (OLIVEIRA; SAVI, 2013)

Segundo Antônio Ramos Perlingeiro, Gilberto Maia Pimenta, Salviano Evaristo Da Silva (2016) consideram que a energia que será utilizada é a vibração, a geometria que é mais utilizada é a apresentada na figura 2.3. Formada por uma viga metálica retangular onde uma de suas extremidades pode se encontrar engastada ou conectada a uma fonte de vibração, enquanto a outra extremidade permanece livre.

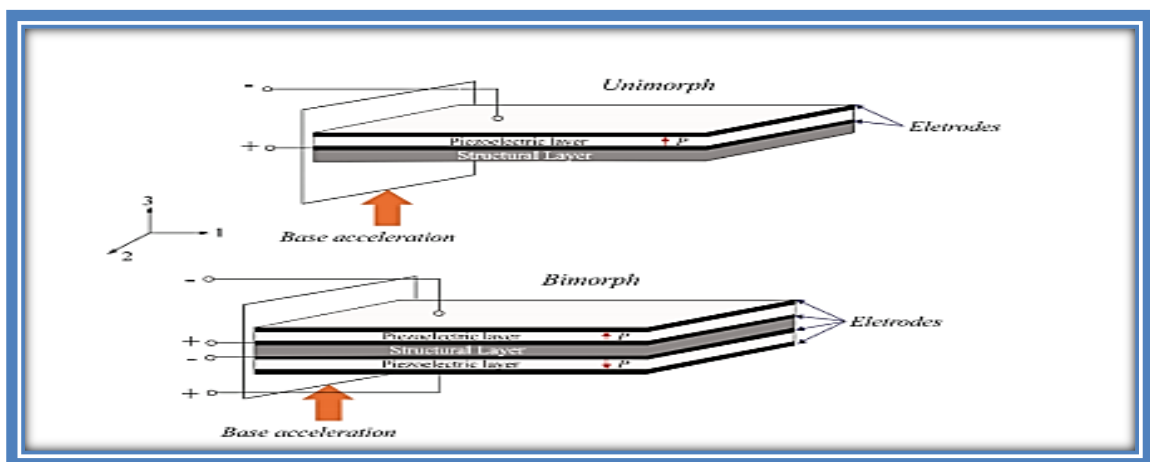
**Figura 2.3-** Configuração básica para captação de energia através de vigas piezoelétricas em balanço



FONTE: Imagem adaptada de: (PERLINGEIRO; PIMENTA; SALVINO DA SILVA, 2016)

As pastilhas podem ser compostas por uma camada piezoelétrica, conhecida como viga piezoelétrica de uma camada (piezoelectric unimorph beam), ou composta por duas camadas piezoelétricas designada como viga de balanço de duas camadas (bimorph cantilever beam), conforme mostrado na figura 2.4. Os bimorfos são os mais utilizados, pois fornecem maiores níveis de energia de saída. (PERLINGEIRO; PIMENTA; SALVINO DA SILVA, 2016)

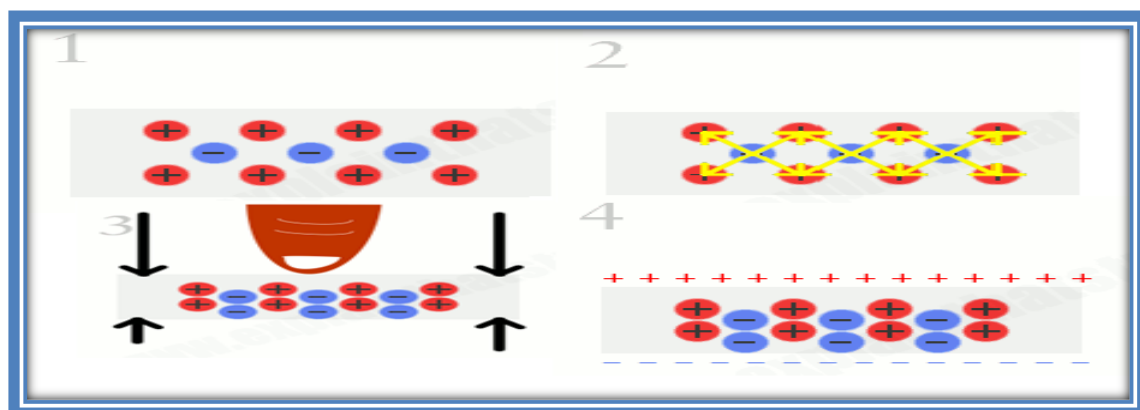
**Figura 2.4-**Tipos de geradores piezoelétricos, unimorfo e bimorfo.



FONTE: Imagem adaptada de: (PERLINGEIRO; PIMENTA; SALVINO DA SILVA, 2016)

O processo de geração ocorre conforme a figura 2.5:

**Figura 2.5-** Processo de geração de Energia



FONTE: Imagem adaptada de: <<https://climatologiageografica.com/um-pouquinho-de-piezoeletricidade/>>. Acesso em: 28 Out. 2017



1. Inicialmente, as cargas em um cristal piezoelétrico são perfeitamente balanceadas, mesmo não sendo simetricamente arranjadas. (BRITO, 2015)
2. As cargas se cancelam, não deixando nenhuma rede extra nas faces do cristal. (BRITO, 2015)
3. Quando ocorre alguma perturbação no cristal, forçará as cargas a se desbalancearem. (BRITO, 2015)
4. Agora, os efeitos das cargas não conseguem se cancelar. Então, a partir do movimento do cristal, é produzida uma diferença de potencial. (BRITO, 2015).

O efeito piezoelétrico pode ser representado através de duas equações, segundo (Eiras, s.d.), são elas:

**Equação 2.2 - Modo direto**

$$D = dT + \epsilon E$$

**Equação 2.3 - Modo Inverso**

$$S = sT + dE$$

**Onde:**

D = vetor de deslocamento elétrico

d = coeficiente piezoelétricos

T = tensão mecânica

$\epsilon$  = permissibilidade dielétrica

E = campo elétrico

S = deformação

s = coeficiente elástico

De acordo com a equação 2.2 a Piezoeletricidade apresenta relação entre propriedades elétricas (E, D) e na equação 2.3 propriedades mecânicas (S, T).

### **2.1.3 Retificadores**

Quando se tem um sinal de tensão ou corrente alternada e precisa, a partir desta alimentação, suprir um sistema de corrente contínua usa-se os retificadores.

Com a correta polarização dos diodos e montando-os em forma de ponte consegue-se converter um sinal AC em DC, em outras palavras transforma-se uma frequência qualquer em zero, porém mantendo sua amplitude RMS. O sistema é amplamente utilizado em circuito eletrônico e até mesmo em linha de transmissão DC de longas distâncias. Fica clara a diversidade de aplicações que o diodo desempenha dentro da eletrônica, mas a retificação é a forma mais comum de utilização dos diodos. (BRAGA, 2017b)

### **2.1.4 Filtros**

Após o sinal AC entrar para o circuito retificador ainda se obtém níveis de tensão oscilantes, desta forma a alimentação se torna imprópria para a maior parte dos circuitos eletrônicos e se torna danosa quando deve suprir sistemas sensíveis (BRAGA, 2017c).

O sinal que sai do sistema retificado preciso ser previamente tratado para que o mesmo sirva de alimentação para os mais diversos componentes eletrônicos que compõem o circuito. Diretamente nos terminais de saída dos diodos, devem-se ligar capacitores para que possam diminuir o *ripple* até padrões aceitáveis pela aplicação. Não há uma regra claramente definida na literatura que auxilie no dimensionamento da capacitância, apenas estima-se por volta de dois mil microfarads para cada ampere que a carga demandar. (BRAGA, 2017c)

### **2.1.5 Controladores de carga**

Na grande maioria das vezes em que o projetista precisa de um sistema que extrai sua alimentação de matrizes energéticas sazonais e de amplitude variante, devem-se usar os controladores de carga para manter a saída da tensão sempre constante (desde que os valores de entrada estejam dentro dos padrões comuns de operação do controlador de carga). Não só isso, este dispositivo também é responsável pela manutenção da carga das baterias que podem ser adicionadas ao sistema e aciona-las sempre que a tensão fornecida pela fonte energética se mostrar insuficiente para a aplicação (BRAGA, 2017c).

### **2.1.6 Inversores**

Predominantemente têm-se como forma de alimentação elétrica as correntes AC (frequência diferente de zero) e DC (frequência igual à zero). Há cargas que dependem de cada um dos tipos de corrente, sendo assim em alguns momentos tem-se a necessidade de converter um padrão energético em outro.

Diferentemente dos retificadores, os quais transformam corrente alternadas em contínua, os inversores transformam corrente contínua em alternada. Logo o dispositivo é capaz de prover à carga um aspecto energético similar ao que a concessionária elétrica entrega. Percebe-se que esse dispositivo se mostra essencial quando deseja converter tensão providas de fontes energéticas alternativas e de baterias para o padrão universal de distribuição (no Brasil 60Hz) (MINHA CASA SOLAR - L&F COMÉRCIO, PROJETOS E CONSULTORIA LTDA., 2017).

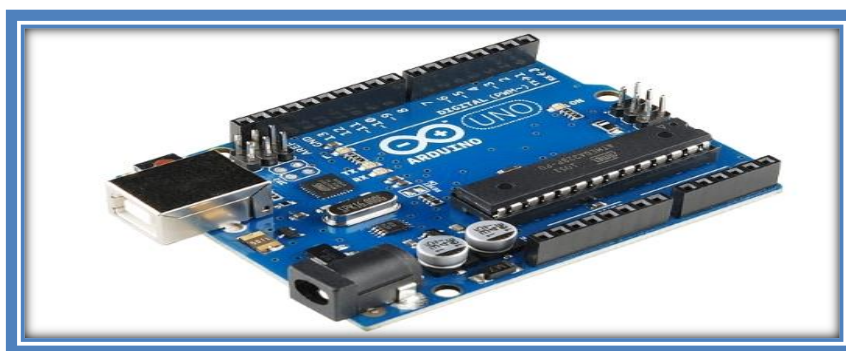
## 2.2 Arduino

A plataforma Arduino foi criada em 2005 por um grupo de 5 pesquisadores: Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis. O objetivo desses pesquisadores era elaborar um dispositivo que fosse ao mesmo tempo barato, funcional e fácil de programar, sendo dessa forma acessível a estudantes e projetistas amadores. Além disso, foi adotado o conceito de hardware livre, o que significa que qualquer um pode montar, modificar, melhorar e personalizar o Arduino, partindo do mesmo hardware básico. (THOMSEN, 2014)

Segundo (THOMSEN, 2014) o Arduino é uma placa composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e que pode ser facilmente conectada a um computador e programada via IDE (Integrated Development Environment, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras além de um cabo USB.

Na figura 2.6 pode-se ver um Arduino Uno.

**Figura 2.6**-Arduino Uno



FONTE: Imagem adaptada do site: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 28 Out. 2017

Fábio Souza (2013) entende que:

A alimentação externa é feita através do conector Jack com positivo no centro, onde o valor de tensão da fonte externa deve estar entre os limites 6V. à 20V., porém se alimentada com uma tensão abaixo de 7V., a tensão de funcionamento da placa, que no Arduino Uno é 5V, pode ficar instável e quando alimentada com tensão acima de 12V, o regulador de tensão da placa pode sobreaquecer e danificar a placa. Dessa forma, é recomendado para tensões de fonte externa valores de 7V. à 12V.

Ainda segundo o mesmo autor (SOUZA, 2013) o Arduino Uno tem os seguintes conectores de alimentação para conexão de módulos e sensores, como mostra a figura 2.7.

**Figura 2.7-** Conectores de alimentação Arduino Uno



FONTE: Imagem retirada de: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acesso em: 28 Out. 2017

**IOREF** - Fornece uma tensão de referência para que shields possam selecionar o tipo de interface apropriada, dessa forma shields que funcionam com a placas Arduino que são alimentadas com 3,3V. Podem se adaptar para ser utilizados em 5V. e vice-versa.

**RESET** - pino conectado a pino de RESET do microcontrolador. Pode ser utilizado para um reset externo da placa Arduino.

**3,3 V.** - Fornece tensão de 3,3V. para alimentação de shield e módulos externos. Corrente máxima de 50 mA.

**5 V** - Fornece tensão de 5 V para alimentação de shields e circuitos externos.

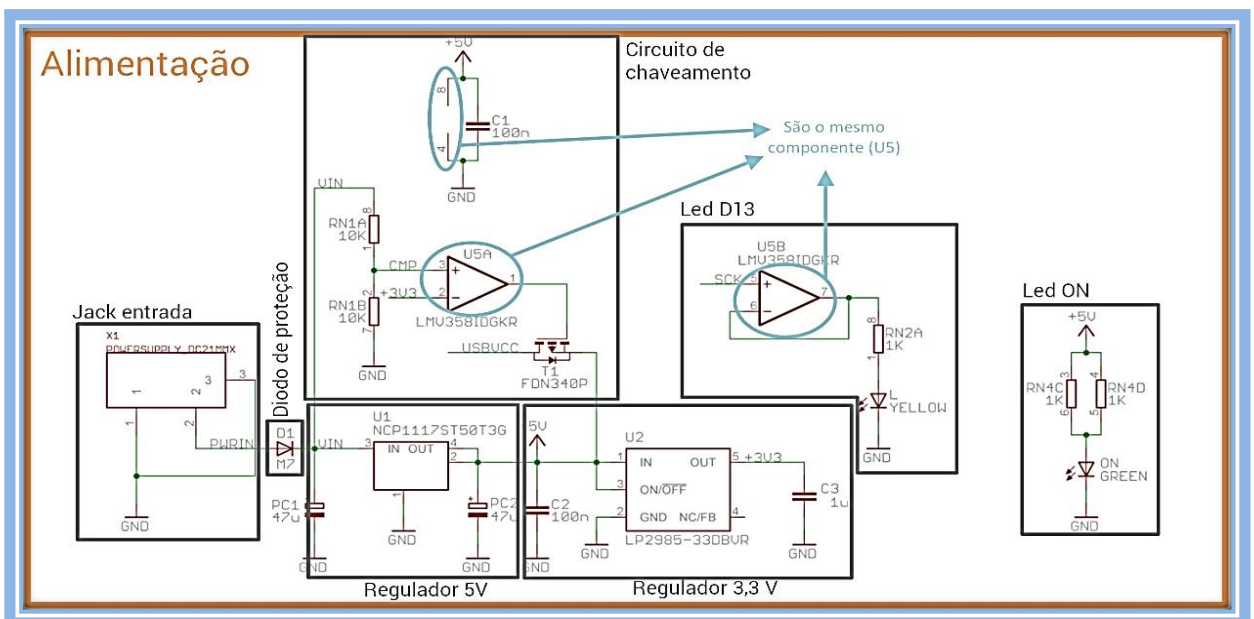
**GND** - pinos de referência, terra.

**VIN** - pino para alimentar a placa através de shield ou bateria externa. Quando a placa é alimentada através do conector Jack, a tensão da fonte estará nesse pino.

### 2.2.3. Esquemático Elétrico Arduino

A melhor forma para entender o esquemático do Arduino uno que é o utilizado no projeto é a divisão dos componentes em três blocos conforme é apresentado em (FURLAN) esses blocos são: processador usb, processador principal e alimentação demonstrado na figura 2.8, 2.9 e 2.10 abaixo:

**Figura 2.8-** Bloco alimentação do Arduino Uno

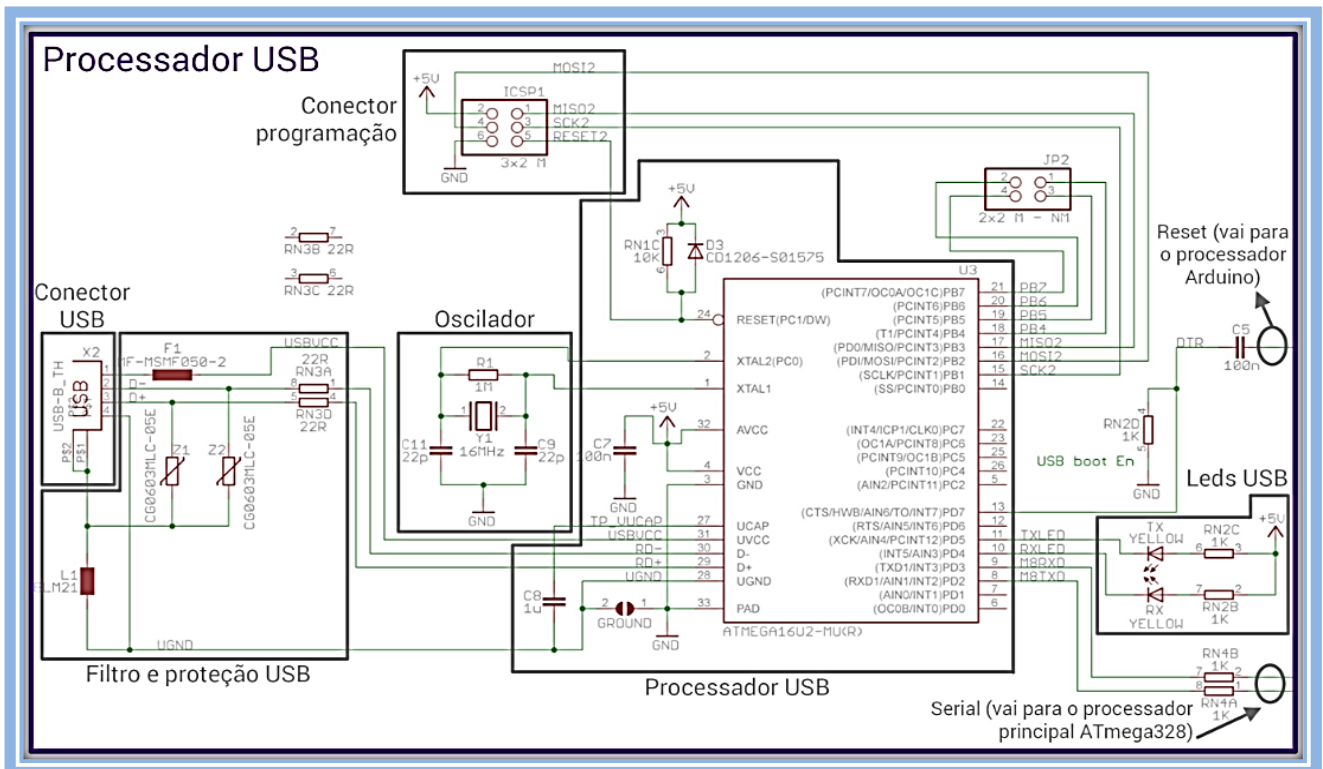


FONTE: Imagem retirada de: <<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/esquema-eletrico-do-arduino-o-guia-definitivo/>>. Acesso em: 29 Out. 2017

Segundo Furlan (2017), o conector X1 mostrado na figura 2.8, que é onde se conecta o plugue de alimentação da fonte externa, D1 é um diodo de proteção que tem como principal função proteger o Arduino caso seja conectado uma fonte com polaridade invertida, logo depois desse diodo tem-se o regulado U1. Furlan (2017) explica que esse regulador tem como função baixar a tensão da fonte (que pode ter um valor entre 7 e 20 Volts) e estabilizá-la em 5 Volts, que é a tensão recomendada para o funcionamento dos componentes do Arduino, como também, filtrar a tensão, atenuando os ruídos que possam ser gerados na fonte de alimentação. Já o U2, que também é um regulador, baixa a tensão de 5 Volts para 3.3 Volts. O circuito chaveado tem a função de solucionar o conflito, quando a fonte é alimentada externamente e pela porta USB.

Agora na figura 2.9 será mostrado o bloco do processador USB.

**Figura 2.9-** Bloco Processador Usb

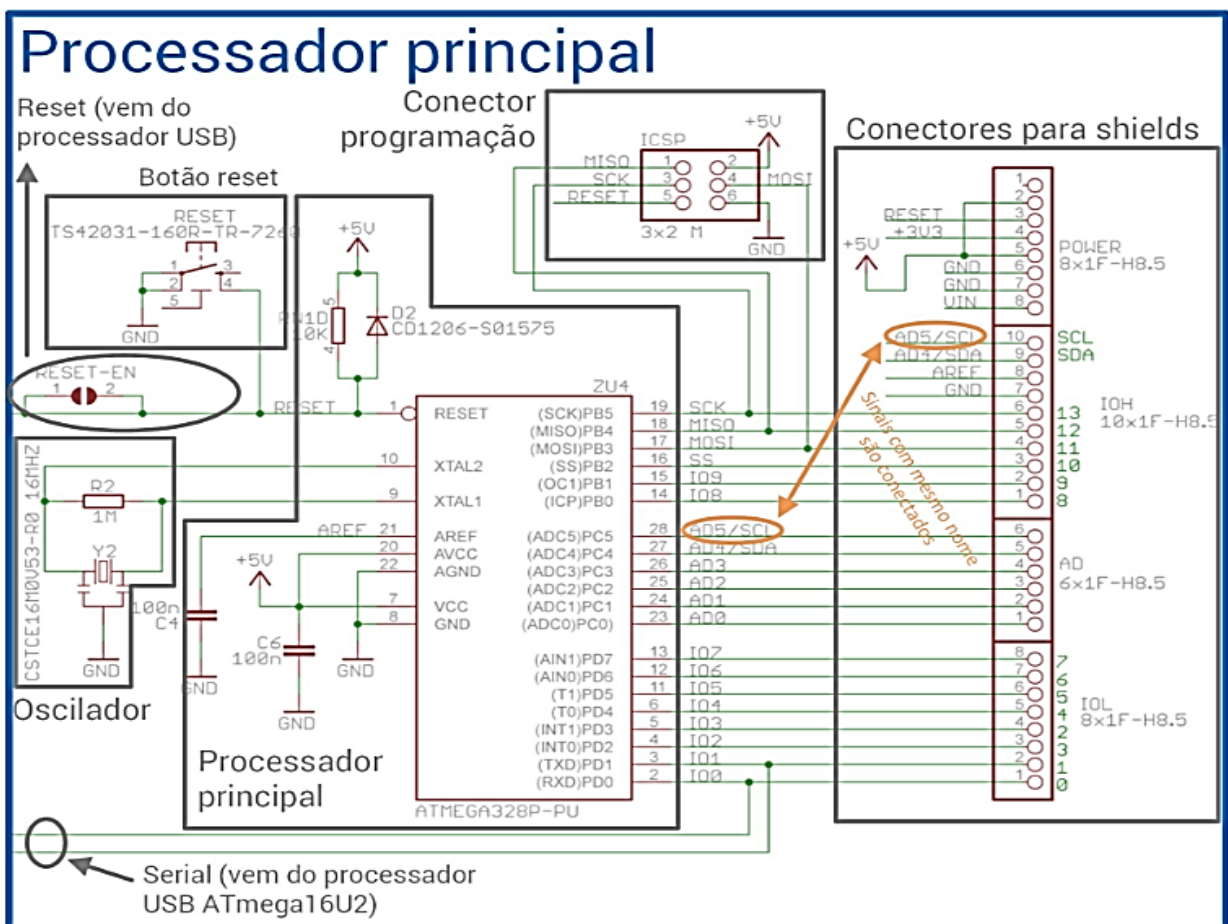


FONTE: Imagem retirada de: <<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/esquema-eletrico-do-arduino-o-guia-definitivo/>>. Acesso em: 29 Out. 2017

O **processador USB**, mostrado na figura 2.9 como U3 tem a função de a comunicação do Arduino com o seu PC. Segundo (FURLAN) ele é necessário, pois o processador principal do Arduino (ATmega328) não suporta conexão direta com uma porta USB. Com isso o processador USB converte os dados da USB do PC para um sinal serial (UART), e este sim pode lido pelo processador principal funcionando como um conversor USB-Serial.

Na figura 2.10 temos o bloco do processador principal.

**Figura 2.10-** Bloco Processador Principal



FONTE: Imagem retirada de: <<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/esquema-eletrico-do-arduino-guia-definitivo/>>. Acesso em: 28 Out. 2017



Segundo (Furlan) o ATmega328 é o "cérebro" do Arduino UNO e ele pode ser resumido em três funções:

- Recebe, envia e interpreta os sinais da serial que vêm do processador USB ATmega16U2.
- Executa o software que está programado nele.
- Interage diretamente com os shields e elementos externos, realizando acionamento de dispositivos e leitura de sensores.

#### 2.2.4 Dados técnicos do Arduino

Segundo o site (WEBTRONICO COMPONENTES ELETRÔNICOS, 2017) o Arduino possui 14 pinos de entrada/saída digital onde 6 pinos podem ser utilizados como saídas analógicas PWM (Pulse Width Modulation) e 6 entradas analógicas, possui um cristal oscilador de 16 MHz.

No site também é possível verificar suas características técnicas conforme tabela (2.1) abaixo:

**Tabela 2.1** - Características técnicas do Arduino

Microcontrolador	ATmega328P
Voltagem operacional	5V
Voltagem de alimentação (recomendada)	7-12V
Voltagem de alimentação (limites)	6-20V
Pinos I/O digitais	14 (dos quais 6 podem ser saídas PWM)
Pinos de entrada analógica	6
Corrente contínua por pino I/O	40 mA
Corrente contínua para o pino 3.3V	50 mA
Memória flash	32 KB (2KB usados para o bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidade de clock	16 MHz

FONTE: imagem retirada de: <<http://www.webtronico.com/arduino-uno-r3.html>>. Acesso em: 30 Out. 2017

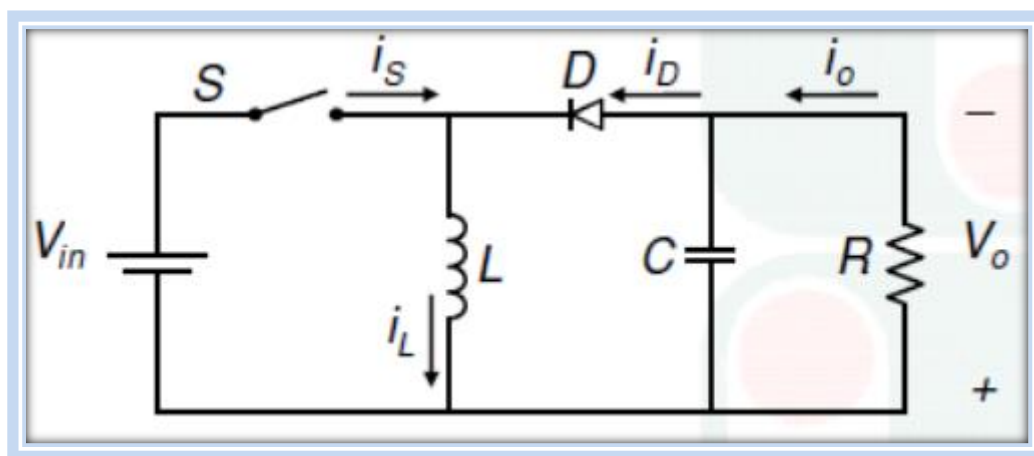
## 2.3 Conversor Buck Boost

O conversor Buck-Boost tem um papel muito importante. Ele tem esse nome, pois ele pode tanto rebaixar a tensão (como um conversor Buck) quanto aumentar a tensão (operando como um conversor Boost). (CABRAL, 2012)

O conversor Buck-Boost combina as características de entrada de um conversor buck e as características de saída de um conversor boost. No conversor buck-boost, a tensão média de saída pode ser maior, igual ou menor que a tensão de entrada, porém com a polaridade invertida. (ASSEF)

Na figura 2.11 pode-se ver um circuito de um conversor Buck-Boost

**Figura 2.11-** Circuito conversor Buck-Boost



FONTE: Imagem retirada de: [http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/balshauer/materiais/4\\_3\\_Buck\\_Boost.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/balshauer/materiais/4_3_Buck_Boost.pdf). Acesso em: 29 Out. 2017

Conforme elenca Flavilene da Silva Souza (2011):

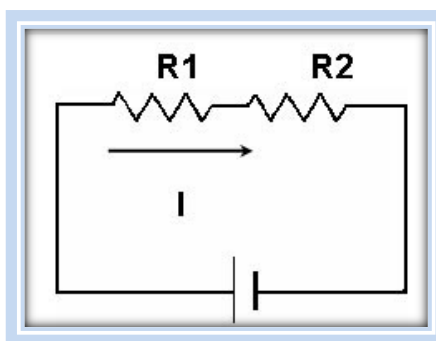
O conversor pode estar em: modo de condução contínua (MCC) ou modo de condução descontínua (MCD). O modo de condução contínua ocorre quando a corrente do indutor não se anula. Já o descontínuo acontece quando o transistor está aberto e a corrente que o indutor armazenou se anula antes do transistor ser fechado novamente.

## 2.4 Medições

Nesse projeto será utilizado para medir a tensão um divisor de tensão que segundo Leonardo Cabral (2011) o circuito divisor de tensão possibilita tensões menores do que a de um gerador disponível.

Conforme a figura 2.12 pode-se ver como a corrente se comporta em um circuito série, ele só tem um caminho, ou seja, uma malha para percorrer. Assim a corrente não se divide.

**Figura 2.12-** Circuito Série



FONTE: Imagem retirada de: <<http://nerdeletrico.blogspot.com.br/2011/04/circuito-divisor-de-tensao.html>>. Acesso em: 23 Out. 2017.

Ou seja, esse processo ocorre conforme a equação 2.4 abaixo (CABRAL, 2011):

$$I_t = \frac{V_t}{R_{eq}} = \frac{V_t}{R_1 + R_2} \quad (2.4)$$

Segundo Leonardo Cabral (2011) a tensão em cada resistor é igual ao produto da tensão sobre ele pela corrente que o percorre. Como o circuito introduzido é série, a corrente que percorre os resistores é uma só ( $I_t$ ). Conforme as equações 2.5, 2.6 e 2.7

$$V_1 = I_t \cdot R_1 \quad (2.5)$$

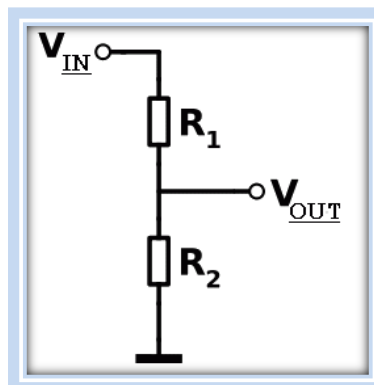
$$V_1 = \left( \frac{V_t}{R_1 + R_2} \right) \cdot R_1 \quad (2.6)$$

$$V_1 = \frac{V_t \cdot R_1}{R_1 + R_2} \quad (2.7)$$

Assim é possível escrever a tensão no resistor R1 em função da tensão total. Essas equações funcionam bem quando é conhecido a tensão total e os resistores da associação. (CABRAL, 2011).

Um sensor baseado no divisor de tensão é ideal para monitorar a tensão. Na figura 2.13 pode-se verificar um divisor de tensão.

**Figura 2.13-** Divisor de Tensão



FONTE: <Imagem retirada de: <<http://autocorerobotica.blog.br/aprenda-utilizar-o-sensor-de-tensao-com-arduino/>>. Acesso em: 30 Out. 2017.>

Segundo Iago Pereira (2017) para montar um divisor de tensão é necessário saber a equação 2.8

$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_i \quad (2.8)$$

Onde:

$V_0$  → Tensão de Saída  
 $V_i$  → Tensão de Entrada  
 $R_1$  → Resistor 1  
 $R$  → Resistor 2

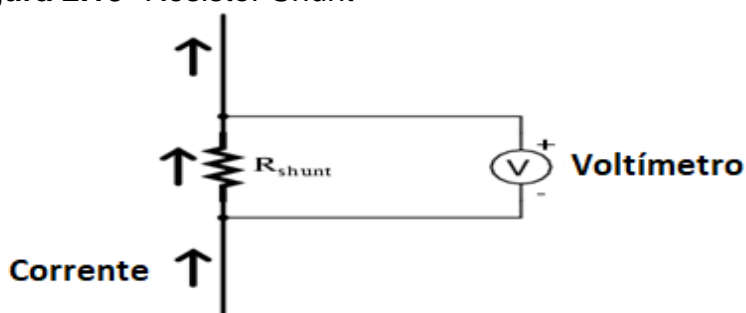
## 2.5 Sensor de Corrente

Nesse projeto será utilizado um resistor shunt, regido pela lei de Ohm. Quando uma corrente atravessa um resistor surge em seus terminais uma tensão que é proporcional a corrente que passa pelo resistor, conforme equação (2.9). (AMARAL, 2017).

$$U = R \times I \quad (2.9)$$

Na figura 2.14 pode-se observar um resistor shunt

**Figura 2.13-** Resistor Shunt



FONTE: Imagem adaptada de: <<http://www.electronicsteacher.com/direct-current/dc-metering-circuits/ammeter-design.php>>. Acesso em: 3 Nov. 2017.

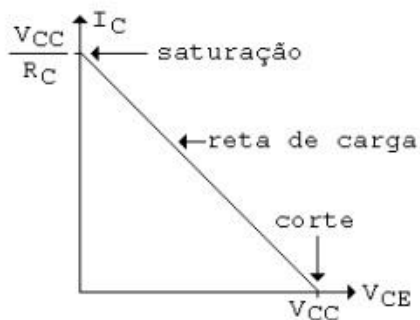
## 2.6 Transistor BC337

Foi utilizado no projeto o transistor BC337 com a função de chavear o Vcc dos Leds com o Vcc das pastilhas piezoelétricas, esse transistor possui três terminais, emissor, coletor e base. A base ativa ele e nos outros dois terminais entra e sai corrente.

Conforme o site (ELETRÔNICA CARANDAÍ), o transistor trabalha como um curto entre o coletor e o emissor quando está saturado, ou seja o VCE se iguala a 0V, e quando está em corte, trabalha como um circuito aberto, ou seja VCE torna se

aproximadamente o  $V_{CC}$ . Na figura 2.14 pode-se como isso é definido.

**Figura 2.14-** Funcionamento do transistor

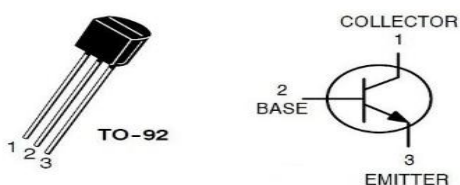


FONTE: Imagem retirada de: <<http://eletronicacarandai.com.br/artigo/transistor-como-chave-eletronica>>. Acesso em: 4 Nov. 2017.

Segundo o autor (BRAGA, 2017d), esse transistor de baixa potência é um NPN utilizado em vários tipos de projetos.

A figura 2.15 mostra o que é cada pino do transistor.

**Figura 2.15-** Pinos BC337



FONTE: Imagem adaptada de: <<https://potentiallabs.com/cart/bc337-transistor>>. Acesso em: 10 Nov. 2017.

### 3 DESENVOLVIMENTO

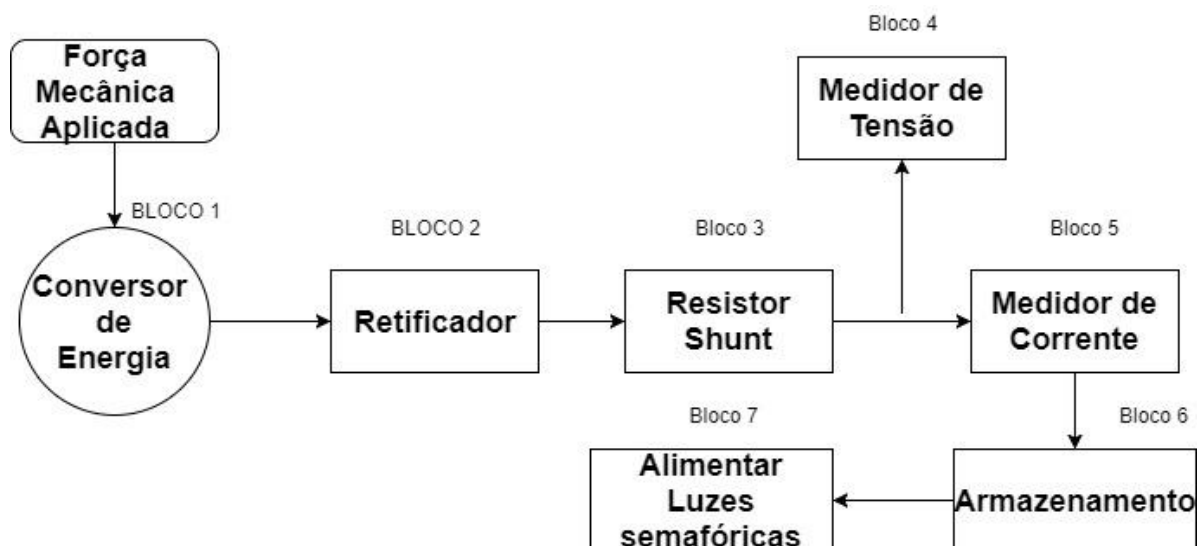
Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento prático do projeto com as pastilhas piezoelétricas, para melhor organização e entendimento o desenvolvimento foi dividido em blocos.

#### 3.1 Descrição do Protótipo

A proposta do protótipo é utilizar uma energia desperdiçada que nesse caso é a mecânica e utilizá-la para alimentar pequenas cargas. Fornecendo assim mais uma alternativa de energia renovável, mesmo sendo para alimentar cargas pequenas.

Na figura 3.1 pode-se verificar como está definido o diagrama de bloco do protótipo, e a forma que os elementos estão conectados.

**Figura 3.1 - Diagrama de Bloco**



FONTE: O autor.

Conforme figura 3.1 o tablado desenvolvido que será mostrado mais a frente recebe o esforço mecânico que causa uma deformação. Essa deformação aplicada

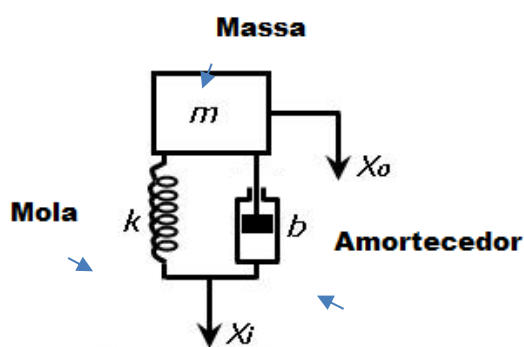
no bloco 1 gera a conversão de energia mecânica em elétrica. No bloco 2 a corrente gerada no transdutor é retificada. No terceiro bloco o resistor shunt regido pela lei de Ohm auxilia os blocos 4 e 5 para medir a tensão e corrente gerada. No bloco 6 ocorre o armazenamento da energia. E o bloco 7 define o que será alimentado.

### 3.2 Conversor de energia

A etapa de conversão de energia está baseada na transformação da energia mecânica em elétrica. No projeto a deformação das pastilhas é crucial para uma melhor eficiência.

Foi necessário utilizar um sistema massa, mola e amortecedor para aproveitar a deformação máxima das pastilhas e conseqüentemente gerar mais energia, conforme figura 3.2.

**Figura- 3.2** Sistema Massa, Mola e Amortecedor



FONTE: Imagem retirada de: <[http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA\\_TUAI/teoria-controle?part=6](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA_TUAI/teoria-controle?part=6)>. Acesso em: 15 Nov. 2017.

No protótipo a massa representa o peso exercido no tablado, foi utilizado molas de 32 mm e o amortecedor é representado por folhas de E.V.A, que são folhas de borracha com 2mm de altura com furo central que foi colado diretamente nas pastilhas, para melhor deformação conforme figura 3.3.



**Figura 3.3 - Amortecedor**



FONTE: O autor

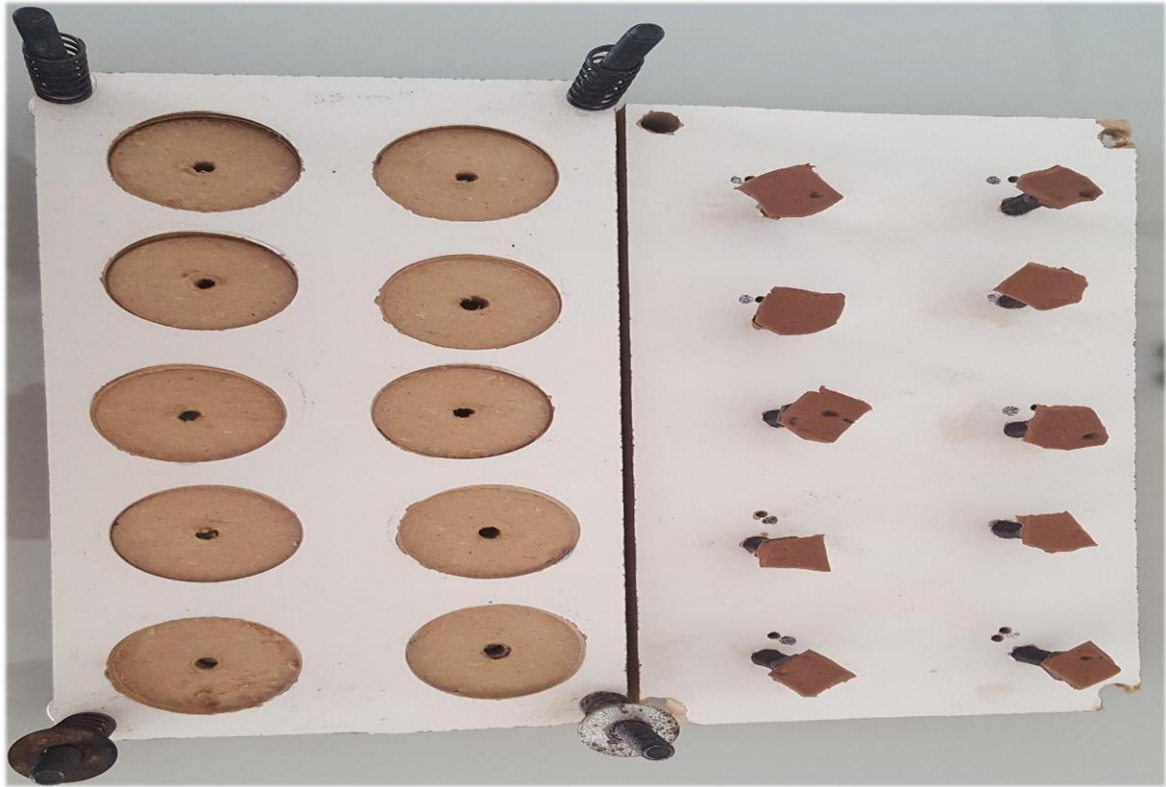
O piso utilizado no protótipo foi a madeira pela facilidade de encontrar. Mas poderia ser utilizado outros materiais como borracha ou acrílico.

### 3.2.1 Plataforma

Ainda incluso no bloco de conversão de energia outro aspecto muito importante para o desenvolvimento do trabalho é a plataforma. Nesse projeto foi colocado como objetivo identificar qual a forma que produz uma melhor eficiência e um estudo das pastilhas quanto a sua área então foi necessário fazer 4 tablados com 10 furos nas seguintes medidas 15mm, 20mm, 27mm, 35mm que são as medidas das pastilhas utilizadas.

Conforme figura 3.4 é possível visualizar como foi feito os furos.

**Figura 3.4** -Plataforma com 10 furos de 35mm



Fonte: O autor

Quando a madeira superior sofre uma pressão os pinos que foram colocados nela deformam a pastilha gerando uma diferença de potencial.

Foram utilizados parafusos de 1/4x2.5" para apoiar as molas e fazer os pinos que pressionam as pastilhas. É importante se atentar para os buracos onde são colocadas as pastilhas, pois se os buracos não estiverem regulares isso afeta diretamente a eficiência das pastilhas.

Os discos foram presos na madeira com cola de silicone para dar mais segurança as pastilhas e também foram feitas fendas nas laterais do tablado onde as pastilhas se encaixam para assim obter uma melhor deformação, após a fixação as pastilhas foram soldadas com fios de cabo de rede que tem 2mm. Outro detalhe que foi importante ter atenção são as pequenas cavidades colocadas no tablado para

encaixar os fios, para que eles não sejam danificados quando houver pressão sobre o tablado. É interessante fazer um furo no meio do buraco onde as pastilhas são encaixadas para que elas tenham mais espaço para deformação, atentando-se que esses furos, no caso de pastilhas de 35 mm não podem passar dos 25 mm, pois caso haja um furo maior que esse as pastilhas podem ser danificadas. É interessante que sejam coladas pequenas espumas em cima das pastilhas, pois com isso todas as pastilhas são pressionadas ao mesmo tempo, sem essas espumas a eficiência mecânica do tablado é reduzida já que um sinal cancela o outro.

No capítulo 1 foi proposto verificar qual a melhor forma de ligar as pastilhas se em série, paralelo ou misto. Foram feitos testes nesses tipos de ligações esses testes serão mostrados no capítulo 4.

Mas para introduzir o assunto primeiro vamos ver como se deu a ligação em série. Quando ligados em série as pastilhas, ou seja, quando é ligado o polo positivo de um disco ao polo negativo do próximo disco conforme figura 3.5. Quando é ligado a pastilha nesse formato ocorre a soma das tensões, tendo como resultado final uma tensão mais alta.

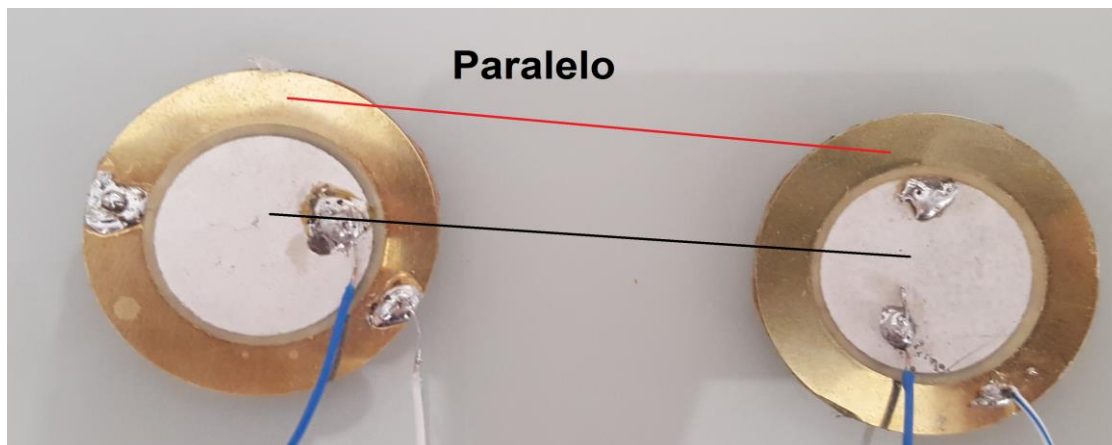
**Figura 3.5 – Ligação Série**



FONTE: O autor

Já na ligação em paralelo quando o polo positivo é ligado ao polo positivo da outra pastilha e o negativo ao negativo, conforme figura 3.6 pode-se verificar que as correntes são somadas.

**Figura 3.6 – Ligação Paralelo**



FONTE: O autor

A ligação em misto, que foi a utilizada no protótipo consiste como o próprio nome diz na mistura das duas ligações, ou seja, no protótipo será feito 7 pacotes de pastilhas em paralelo e esses pacotes foram ligados em série. Utilizando essa ligação foi possível perceber que tanto a corrente quanto a tensão foram somadas, auxiliando assim o melhor aproveitamento da energia gerada.

Foi produzida outra plataforma com 100 pastilhas conforme figura 3.7 para alimentar as luzes semafóricas da maquete.

**Figura 3.7** Tablado para 100 pastilha



FONTE: O autor

Foram colocadas tiras de 35 mm de circunferência a baixo das pastilhas pra elas obterem uma melhor deformação.

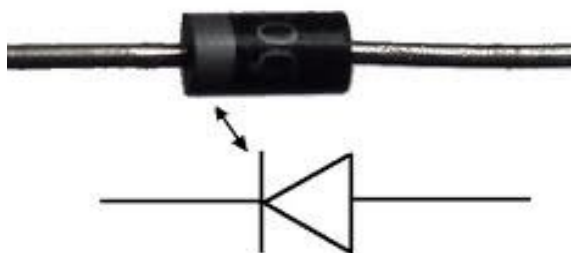
### 3.3 Retificador

O bloco 2 que é o retificador tem a função de retificar o sinal gerado pelas pastilhas e transforma-lo em contínuo. Esses componentes tem a propriedade elétrica que permite a passagem de corrente em um único sentido.

Ao construir o retificado foi colocado em questão que um retificador de onda completa tem uma queda de tensão de 1,4 Volts já o de meia onda essa queda cai pela metade, ou seja, 0,7 volts. Portanto no protótipo foi utilizado um retificador de meia onda já que a tensão e corrente gerada é muito baixa, então deve-se fazer o possível para evitar perdas.

No projeto foi utilizado o diodo 1N4007 por ser comercialmente mais viável conforme figura 3.7.

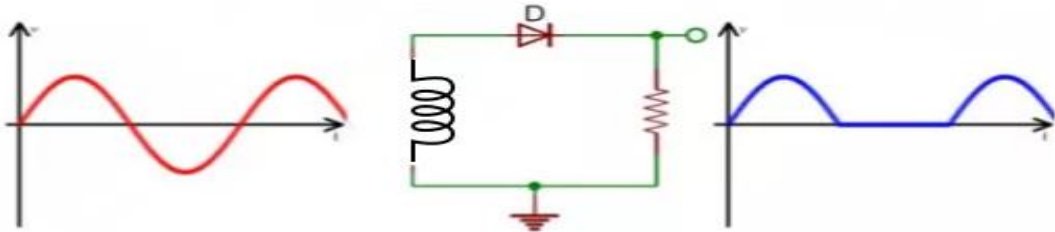
**Figura 3.7** – Diodo 1N4007



FONTE: Imagem retirada de: <<http://newportcom.com.br/1n4007.html>>. Acesso em: 11 Nov. 2017.

Na imagem 3.7 pode-se verificar o comportamento da retificação em meia onda onde a tensão fica zero no ciclo reverso.

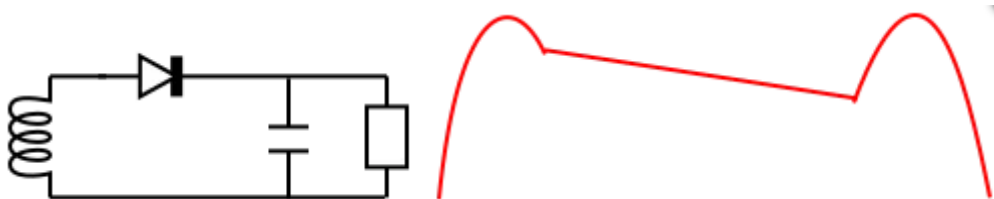
**Figura 3.7-** Retificação de meia onda



FONTE: Imagem retirada de: <<https://cadernodelaboratorio.com.br/2017/08/28/conhecendo-os-diodos-retificador-meia-onda/>>. Acesso em: 11 Nov. 2017.

Devido à pressão aplicada no tablado variar de acordo com a força e a frequência, quando o tablado é pressionado o mesmo gera um sinal palpitante, tornando necessário a utilização de um capacitor para filtrar o sinal. Na figura 3.8 é mostrado sinal com o uso do capacitor.

**Figura 3.8-** Retificação meia onda com capacitor de filtro



FONTE: Imagem retirada de: <<https://cadernodelaboratorio.com.br/2017/08/28/conhecendo-os-diodos-retificador-meia-onda/>>. Acesso em: 12 de Nov. 2017;

### 3.4 Resistor shunt e Medidor de Tensão

Por se tratar de pastilhas piezoelétricas que possuem correntes muito baixas, foi optado por utilizar o resistor shunt o funcionamento desse resistor foi descrito no capítulo 2 conforme figura 3.9.

**Figura 3.9-** Resistor Shunt



FONTE: Imagem retirada de: <<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-8/ammeter-design/>>. Acesso em: 14 de Nov. 2017.

Nesse tipo de medição em que a tensão é baixa a resistência utilizada é de valor pequeno no caso 10 ohm. Foram utilizados dois resistores um de 20Kohm e outro de Kohm para identificar a queda de tensão.

O resistor shunt é ligado em série com a plataforma, quando a tensão circula pelo resistor gera uma tensão proporcional a corrente. Conforme explicado no capítulo 2 quando é medido essa tensão utilizando a lei de ohm e possível saber o valor da corrente. Esse valor passa pelo Arduino e é impresso no LCD.

### 3.5 Armazenamento

O bloco armazenamento é responsável por armazenar a energia gerada pelos transdutores quando deformados e alimentar as luzes semafóricas. Nesse projeto será utilizado um capacitor de 1000uF por possuir uma impedância mais alta não demandando tanta corrente da fonte. A figura 3.10 mostra o capacitor utilizado.

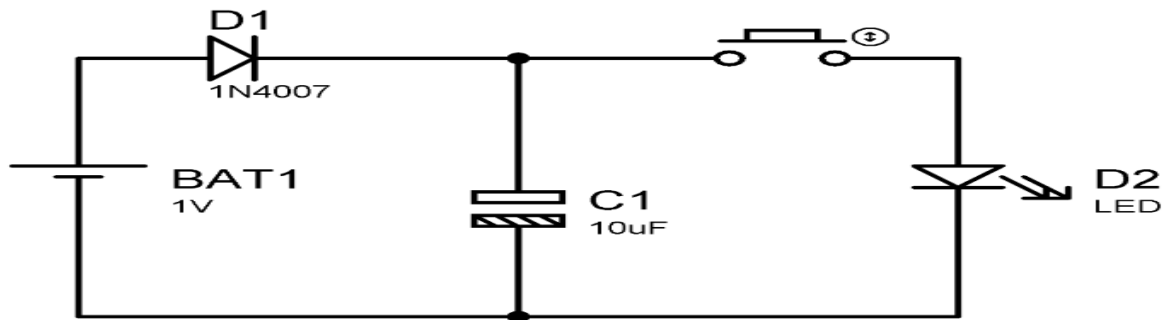
**Figura 3.10-** Capacitor 1000uF



FONTE: < <https://www.dedcomponentes.com.br/capacitor-eletrolitico-1000uf-x-25v-c-20.html> >. Acesso em: 24 Nov. 2017

O circuito seguirá o padrão da figura 3.11

**Figura 3.11-** Circuito



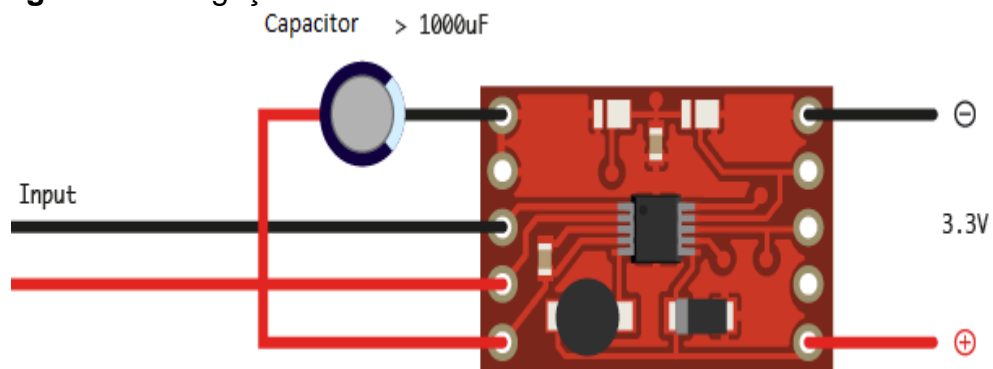
FONTE: O autor

### 3.6 LTC3588

No projeto foi utilizado esse módulo pois ele é um gerenciador de carga específico para fontes alternativas, que é a maior dificuldade encontrada nesse tipo de energia.

O circuito foi ligado conforme a figura 3.12

**Figura 3.12-** Ligação módulo LTC3588



FONTE: Imagem retirada de: <<https://www.usinainfo.com.br/controladores-de-carga/energy-harvester-ltc3588-gerenciador-de-carga-nano-para-painel-solar-e-energia-piezoelétrica-4985.html>>. Acesso em: 28 Out. 2017

Esse módulo permitirá um melhor armazenamento da energia gerada pelas pastilhas colocadas no tablado. Ele possui um modo ultra low de bloqueio de

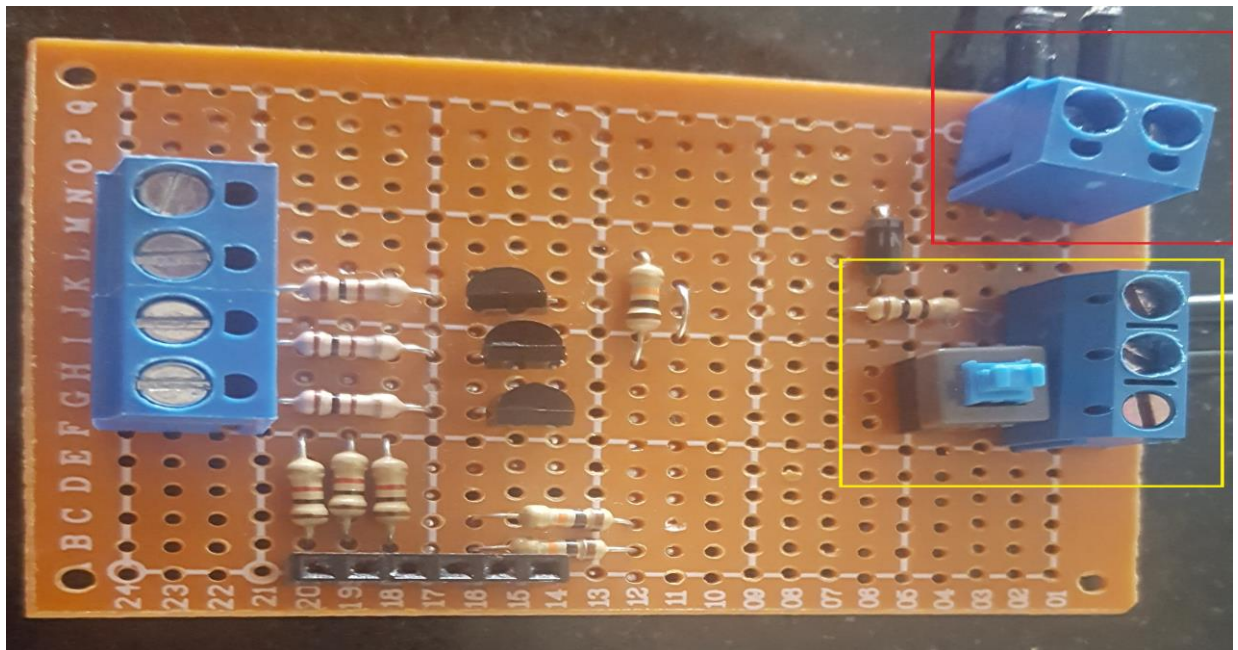


subtensão de corrente quieta (UVLO), permitindo que a carga se acumule no capacitor de entrada até o conversor Buck possa transferir de forma eficiente a carga armazenada para saída.

### 3.7 Circuitos

Para colocar o circuito na maquete foi necessário fazê-lo em uma placa de fenolite. Na figura 3.13 é possível verificar todo o circuito produzido.

**Figura 3.13-** Circuito do projeto



FONTE: O autor

Os pinos 18, 19 e 20 da figura 3.13 são responsáveis pelo controle do Led, o 16 e 17 mede a tensão gerada e o 15 é o GND. A entrada G, I, K sai para os Leds e a entrada M é o VCC comum dos Leds. O quadrado vermelho na ponta direita superior mostra onde será ligado o banco de capacitores, o amarelo é a entrada da alimentação.

## 4 TESTES E RESULTADOS ALCANÇADOS

Neste capítulo é demonstrado os testes e resultados atingidos no decorrer do projeto. Como foram propostas algumas verificações sobre a pastilha nos capítulos anteriores, o capítulo será dividido em 5 casos.

- Dados da energia gerada
- Analisar série, paralelo e misto
- Geração de acordo com o tamanho
- Cálculos de gastos (Protótipo)
- Economia que será possível gerar em um semáforo

Os resultados apresentados nesse cenário de teste foram obtidos através de um protótipo em pequena escala, com 100 discos piezoelétricos, a ideia desse projeto é verificar a viabilidade de implementação em larga escala, em locais com passagem de muitos veículos para alimentar luzes semaforicas. No protótipo será utilizado uma maquete para essa simulação.

### 4.1 Dados da energia gerada

Conforme já falado nos capítulos anteriores as pastilhas utilizadas para desenvolvimento do protótipo possuem 35 milímetros de diâmetro. Foi verificado no primeiro momento se de fato quanto maior a intensidade da tensão mecânica aplicada sob a pastilha, mais energia seria gerada.

A ideia é obter uma deformação análoga ao de uma pista de tráfego, por isso foi preciso estabelecer padrões de tempo e força aplicada. Caso esse protótipo seja colocado em escala real devem se considerar escala de força aplicada pois em um veículo chega a pesar toneladas, além das condições climáticas.

Na tabela 4.1 pode-se verificar que após as pastilhas serem deformadas com pesos diferentes qual a proporção de aumento de geração

**Tabela 4.1-** Relação pressão, tensão, corrente e potência

Peso (Kg)	Tensão (V)	Corrente (mA)	Potência (W)
2	2.44	10	0,0244
4	3.67	12	0,04404
6	3.82	15	0,0573
8	4.24	18	0,07632
10	4.43	21	0,09303
12	4.74	26	0,12324
14	4.95	32	0,1584
16	5.02	38	0,19076
18	5.42	43	0,23306
20	5.56	47	0,26132
22	5.77	51	0,29427
24	5.96	56	0,33376
26	6.04	63	0,38052
28	6.12	68	0,41616

Esses testes foram realizados aplicando forças diferentes na pastilha e observando como ela reagia. Com o auxílio de uma balança modelo QF-2003b com precisão de 0,1 à 180 kg, erro sistemático de 0,005, pode se qualificar o peso que está sendo aplicado.

As tensões e correntes foram medidas com um aparelho multímetro Digital TRUE-RMS com precisão (1% de leitura + 3 contagens) e a potência foi calculada pela fórmula da potência descrita na equação 4.1.

$$P = V * I \quad (4.1)$$

Onde V representa a tensão e I a corrente.

Através da tabela 4.1 pode-se confirmar que quanto maior a pressão exercida maior é a deformação nas pastilhas.

Para um melhor estudo da tabela 4.1 foi plotado dois gráficos que mostre a relação existente entre a potência e pressão no gráfico 4.1 e outro tensão e a corrente no gráfico 4.2

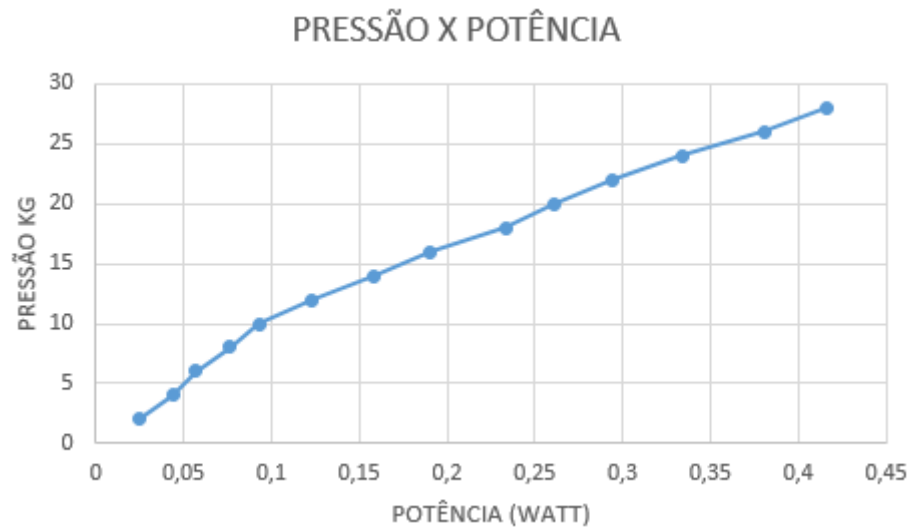


Gráfico 4.1 Relação pressão com potência

Pode-se verificar que a relação pressão potência é diretamente proporcional ou seja aumentado a pressão aplicada sobre as pastilhas a potência será aumentada.

O gráfico 4.2 demonstra a relação existente entre a tensão e a corrente.

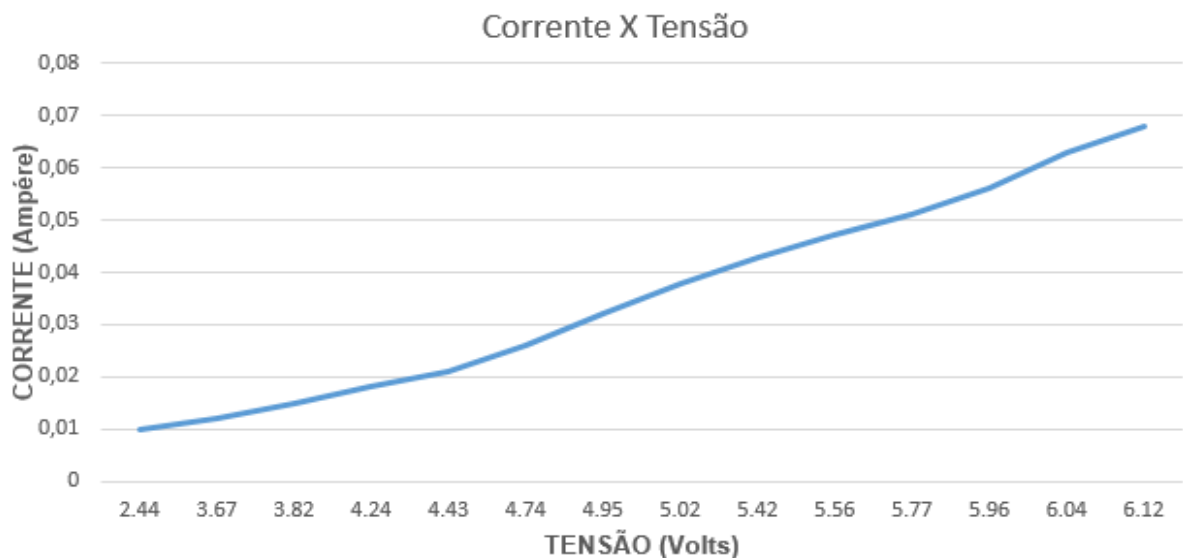
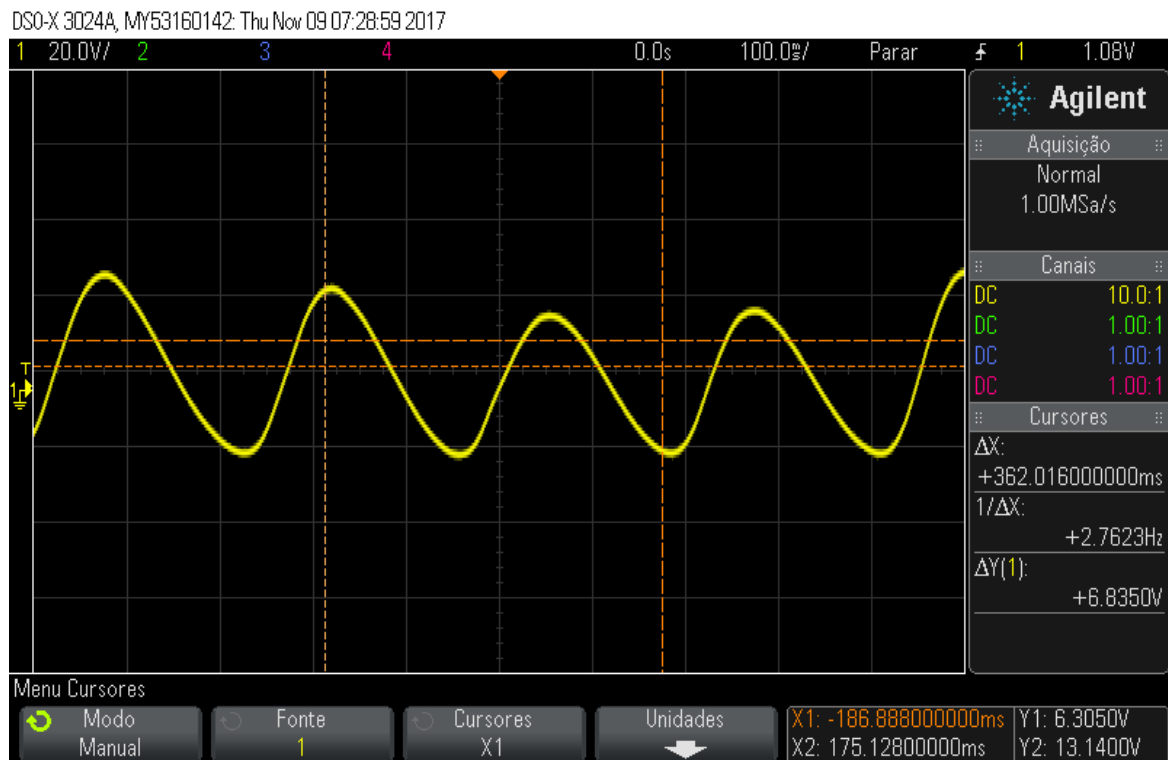


Gráfico 4.2- Relação entre corrente e tensão

Conforme a tensão vai aumentando a corrente também aumenta porem em determinado ponto a tensão aumenta com uma maior dificuldade, mas a corrente continua aumentando.

Antes do sinal ser retificado ele apresentava as características da figura 4.1 para realizar esse teste foi causado 2 variações a cada 1 segundo mantendo assim o sinal com uma frequência constante.

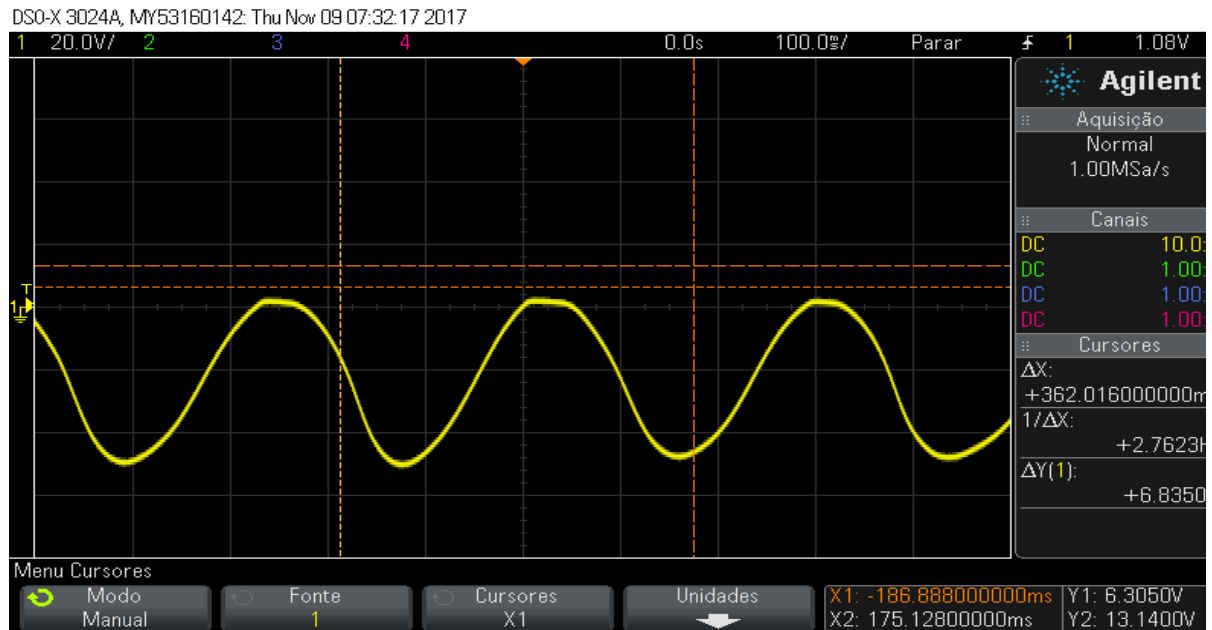
**Figura 4.1-** Pastilhas sem retificador



FONTE: O autor

Após ser colocado o retificador de meia onda o sinal apresentou o comportamento da figura 4.2.

**Figura 4.2-** Sinal retificado



FONTE: O autor

É possível identificar como houve a melhora do sinal após a utilização do diodo 1N4007

Na figura 4.2.1 pode-se verificar o sinal retificado utilizando-se o retificador de baixa perda do módulo LTC-3588, nele é possível estabilizar o sinal em 3.3 Volts.

**Figura 4.2.1-** Sinal retificado com LTC-3588



FONTE: O autor

## 4.2 Análise série, paralelo e misto

A análise do circuito em paralelo, série e em misto foi feita a partir de um tablado contendo 10 pastilhas de 35mm, foi aplicada um peso de 10 kg, mantendo uma frequência de 2 deformações por segundo, esse tempo foi medido através de um cronometro, a partir dos valores obtidos foi produzida a tabela 4.2 onde pode-se verificar qual a tensão, corrente e potência gerada colocando o circuito em misto, paralelo e contínuo.

	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (W)
MISTO	4.08	0.022	0.090
	4.12	0.025	0.103
PARALELO	1.08	0.032	0.035
	1.12	0.035	0.039
SÉRIE	4.04	0.012	0.090
	4.10	0.016	0.103

Tabela 4.2 – Tipos de ligação

A partir da tabela 4.2 é possível verificar que quando as pastilhas são ligadas em misto ocorre a soma das correntes e da tensão, em paralelo a corrente se soma mais a tensão permanece a mesma e em série ocorre a soma da tensão, mas a corrente é a mesma. Ou seja, para o protótipo é interessante a utilização das pastilhas ligadas em misto pois assim temos a soma das correntes e da tensão.

## 4.3 Geração de acordo com o tamanho das pastilhas

Para fazer essa verificação foram feitos 4 Pack's com 10 pastilhas nas seguintes circunferências 15 milímetros, 20 milímetros, 27 milímetros, 35 milímetros, aplicando um peso de 8kg, 10kg 12 kg e 14 kg foi possível verificar as seguintes tensões

	Pastilhas 15mm	Pastilhas 20mm	Pastilhas 27mm	Pastilhas 35mm
8 Kg	1.21 Volts	1.44 Volts	2.97 Volts	4.18 Volts
10 Kg	1.44 Volts	1.73 Volts	3.21 Volts	4.44 Volts
12 Kg	1.64 Volts	1.88 Volts	3.44 Volts	4.75 Volts
14 Kg	1.82 Volts	2.12 Volts	3.55 Volts	4.85 Volts

Foi possível verificar que quanto maior a área das pastilhas mais energia pode ser gerada, porém as pastilhas que possuem a área menor são mais resistentes.

#### 4.4 Calculo de gastos no protótipo

Tabela 4.4- Custo do projeto

Componente	Quantidade	Preço	Total
<b>Cápsula Piezoelétrica 35mm</b>	<b>100</b>	<b>R\$0,99</b>	<b>R\$ 99,00</b>
<b>Diodo 1N4007</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 0,20</b>	<b>R\$ 0,20</b>
<b>Arduino Uno R3</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 45,00</b>	<b>R\$ 45,00</b>
<b>Madeira</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 40,00</b>	<b>R\$ 40,00</b>
<b>LTC3588</b>	<b>1</b>	<b>R\$ 89,90</b>	<b>R\$ 89,90</b>
<b>Total : R\$ 274,1</b>			

#### 4.5 Economia que será gerada em um semáforo

Segundo dados do DETRAN-DF departamento de transito de Brasília responsável pelo sistema semafórico de Brasília, foi feita uma medição no semáforo de Taguatinga centro no dia 14 de outubro de 2017. A carga consumida pelas luzes semafóricas é de 0,57 A para cada lâmpada, ou seja, 1.71 A com uma tensão de 218 V e potência de 372.78 WH. Nesse caso em 24 Horas de uso esse sistema consome 8,94 KW/dia, a energia custa 0,5794 reais por KWH, portanto ele possui um consumo em reais de 5,18 por dia em um ano 1.864,8 reais. Assumindo que Brasília possui 3000 semáforos e que por dia eles consomem uma potência de 26.820 KW/dia em reais 15.539,50.

Para termos uma projeção de quanto será necessário para alimentar um semáforo em escala real deve-se fazer a seguinte suposição se com 10 discos a um peso de 28 kg é possível gerar 68 miliampéres e uma tensão de 4.43 Volts, ou seja, um projeto com 500 pastilhas geraria o equivalente a 3.4 ampéres, assumindo que essas 500 pastilhas fossem colocadas em 2 fileiras em paralelo e essas fileiras fossem ligadas em série seria possível gerar uma tensão de 220 Volts com uma potência de 748 Watts nesse caso seria o suficiente para alimentar dois semáforos.



## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esse capítulo versa sobre as conclusões finais do projeto, nele será exposto a opinião do autor quanto as pastilhas e a viabilidade do projeto, além de oferecer algumas propostas para trabalhos futuros que estejam relacionados a esse contexto.

### **5.1 Conclusões**

O projeto teve como objetivo desenvolver um tablado capaz de gerar energia, captando a energia mecânica gerada pelo peso e a convertendo em energia elétrica, logo após alimentar uma bateria e alimentar as luzes semafóricas de uma maquete.

O projeto também caracterizava alguns objetivos específicos para um melhor estudo do caso, que são: Pesquisar tecnologias piezoelétricas, métodos de captação de energia mecânica, Analisar a melhor forma de posicionar as pastilhas, se em série, paralelo ou misto, Estudo das pastilhas pela área de acordo com os tamanhos de 15mm, 20 mm, 27 mm e 35mm, Elaborar driver de medição, Produzir em uma plataforma as pastilhas piezoelétricas para que quando pressionada sejam capazes de deformar as pastilhas piezoelétricas, transformando energia mecânica em energia alternativa, Criar uma maquete onde terá um semáforo, onde será acoplada a plataforma com as pastilhas piezolétricas.

Observando os resultados obtidos, pode-se constatar que de fato os objetivos foram atingidos, já que o tablado foi capaz de gerar energia suficiente para alimentar a maquete do semáforo, os objetivos específicos também foram alcançados pois de fato pode-se verificar no capítulo 4 os estudos com as pastilhas referente a quantidade e tamanho de pastilha, além da elaboração do tablado para converter energia mecânica em elétrica e mostrar no display a corrente, tensão e potência gerada.

O diodo de meio onda funcionou conforme previsto retificando o sinal que era gerado pelas pastilhas.

A metodologia auxiliou na organização do projeto e direcionamento nos caminhos a serem seguidos para alcançar um bom resultado final.

Por fim pode-se inferir que todos os objetivos foram alcançados. O tablado elaborado de fato converte a energia mecânica em energia elétrica e pode ser caracterizado como um sistema de energia alternativa e limpa, a partir dos resultados obtidos e possível inferir que o projeto pode ser implantado em grande escala, trazendo uma economia na energia.

## **5.2 Propostas de trabalhos futuros**

Mesmo o protótipo funcionando da forma que foi prevista. Essa vertente de utilizar as pastilhas piezoelétricas como geradoras ainda é relativamente nova, ou seja, ainda existe muito a ser aprimorado.

Uma ideia para trabalhos futuros é fazer um estudo da deformação das pastilhas para definir qual a forma que melhor as deformariam trazendo um melhor desempenho.

Outra proposta seria aumentar o número de pastilhas em um nível de escala real para verificar o desempenho em solo e a melhor forma de armazenar a energia.

Outra sugestão seria verificar qual o melhor cristal e formato a se utilizar para gerar o efeito piezoelétrico com maior desempenho.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, H. Medindo corrente e tensão com o módulo INA219. **Filipeflop**, 27 Abril 2017. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/medindo-corrente-e-tensao-modulo-ina219/>>. Acesso em: 10 Outubro 2017.
- ASSEF, A. Conversor CC-CC à acumulação indutiva. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjz1puojsbWAhXFjJAKHZ0XCwQQFgg\\_MAI&url=http%3A%2F%2Fpaginapessoal.utfpr.edu.br%2Famauriassef%2Fdisciplinas%2Feletronica-de-potencia%2Fapresentacoes%2FEletr\\_Pot1\\_25.pdf%2Fat\\_downl](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjz1puojsbWAhXFjJAKHZ0XCwQQFgg_MAI&url=http%3A%2F%2Fpaginapessoal.utfpr.edu.br%2Famauriassef%2Fdisciplinas%2Feletronica-de-potencia%2Fapresentacoes%2FEletr_Pot1_25.pdf%2Fat_downl)>. Acesso em: 29 Outubro 2017.
- BRAGA, N. C. <http://www.newtoncbraga.com.br/>. **Instituto Newton C. Braga**, Junho 2017. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/5389>>. Acesso em: 29 Outubro 2017.
- BRAGA, N. C. <http://www.newtoncbraga.com.br/>. **Instituto Newton C. Braga**, Junho 2017b. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/5735-art1309>>. Acesso em: 29 Outubro 2017.
- BRAGA, N. C. BC337 (IP259). **INSTITUTO NCB**, 2017d. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/ideias-dicas-e-informacoes-uteis/51-scr-triac/2715-ip259>>. Acesso em: 29 Outubro 2017.
- BRITO, J. C. Um pouquinho de piezoeletricidade. **Climatologia Geografica**, 13 Outubro 2015. Disponível em: <<https://climatologiageografica.com/um-pouquinho-de-piezoeletricidade/>>. Acesso em: 19 Setembro 2017.
- CABRAL, L. Circuito Divisor de Tensão. **NerdEletrico**, 29 Abril 2011. Disponível em: <<http://nerdeletrico.blogspot.com.br/2011/04/circuito-divisor-de-tensao.html>>. Acesso em: 04 Outubro 2017.
- CABRAL, L. nerdeletrico. **Conversor Buck-Boost no modo contínuo**, 4 Setembro 2012. Disponível em: <<http://nerdeletrico.blogspot.com.br/2012/09/conversor-buck-boost-no-modo-contínuo.html>>.
- CAIADO, L. O que você precisa saber sobre energia renovável. **Cebds**, 02 Julho 2016. Disponível em: <<http://cebds.org/blog/energia-e-clima/o-que-voce-precisa-saber-sobre-energia-renovavel/#.WcOq7siGPIU>>. Acesso em: 21 Setembro 2017.
- EIRAS, J. A. ebah. **Materiais Piezoeletricos**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgHQAH/capitulo-2-materiais-piezoeletricos>>. Acesso em: 20 Setembro 2017.
- ELETRÔNICA CARANDAÍ. Transistor como chave eletrônica. **Eletrônica Carandaí**. Disponível em: <<http://eletronicacarandai.com.br/artigo/transistor-como-chave-eletronica>>. Acesso em: 29 Outubro 2017.
- ESTEVÃO, V. Lei de Joule. **efeitojoule**, Abril 2014. Disponível em: <<http://www.efeitojoule.com/2014/04/lei-de-joule.html>>. Acesso em: 19 Setembro 2017.
- FERREIRA, A. L. G. Plataforma energética a partir de discos piezoelétricos, Brasília, 2015.
- FINDER COMPONENTES LTDA. O mundo Sustentável das Energias Renováveis.

**instalacoes elétricas**, Março 2011. Disponível em:

<<http://www.instalacoeseletricas.com/download/energias%20 Renovaveis.pdf>>.

FRASÃO, L.; BARRA, M.; MENICONI, T. Entenda como a geração de energia elétrica afeta o meio ambiente. **G1**, 26 Março 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/03/entenda-como-geracao-de-energia-eletrica-afeta-o-meio-ambiente.html>>. Acesso em: 24 Setembro 2017.

FURLAN, G. A. Esquema Elétrico do Arduino - O Guia Definitivo. **circuitar**. Disponível em: <<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/esquema-eletrico-do-arduino-o-guia-definitivo/>>. Acesso em: 06 Outubro 2017.

GOMES, A. L. PLATAFORMA ENERGÉTICA A PARTIR DE DISCOS PIEZOELÉTRICOS , 2015. 67.

GRANDELLE, R. O Globo. **O Globo**, 26 Março 2016. Disponível em:

<<http://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/investimento-em-fontes-de-energia-renovaveis-bate-recorde-18952759>>.

GUILHERME CRIPPA URSAIA (PINHEIRO PEDRO ADVOGADOS). **As energias renováveis no Brasil**. Palhoça: Unisul, 2011.

GUSTAVO. austerenergy. **Quais as fontes de energias renováveis mais utilizadas no Brasil?**, 21 Setembro 2016. Disponível em: <<https://www.austerenergy.com.br/energias-renovaveis-utilizadas-brasil/>>.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Colheita de energia fica comercialmente viável. **Inovação Tecnológica**, 20 Novembro 2014. Disponível em:

<<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=colheita-energia-fica-comercialmente-viavel&id=010115141120#.WcOpzciGPIV>>. Acesso em: 21 Setembro 2017.  
JESUS, E. et al. Cuissance, São Caetano do Sul, 2016.

LCD. <http://labcd.org/>. **Laboratório de Criação Digital**, Junho 2017. Disponível em:

<[http://labcd.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=29:aula&catid=1:general](http://labcd.org/index.php?option=com_content&view=article&id=29:aula&catid=1:general)>. LINEAR TECHNOLOGY. LTC3588-1 - Nanopower Energy Harvesting Power Supply. **LINEAR TECHNOLOGY**. Disponível em: <<http://www.linear.com/product/LTC3588-1>>. Acesso em: 20 Outubro 2017.

MACIEL, A. <http://materiaisdofuturo.blogspot.com.br/>. **Materiais do Futuro**, 09 Outubro 2011. Disponível em: <<http://materiaisdofuturo.blogspot.com.br/2011/10/materiais-inteligentes.html>>.

MAIO, C. E. B. **Técnicas para monitoramento de integridade estrutural usando sensores e atuadores piezoelétricos**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, p. 113. 2011.

MARTENDAL, V. K. F. E. C. P. **Cristais piezoelétricos**. Santa Catarina. 2016.

MINHA CASA SOLAR - L&F COMÉRCIO, PROJETOS E CONSULTORIA LTDA.

<http://www.minhacasasolar.com.br/>. **Minha Casa Solar**, Junho 2017. Disponível em: <<http://www.minhacasasolar.com.br/>>.

MOLINA F., W. **RECURSOS ENERGÉTICOS E AMBIENTE**. CURITIBA: intersaberes, v. 1, 2015.

MOREIRA FILHO, J. G. DIARIO DO COMERCIO. **Crise energética brasileira**, 09 Maio 2014. Disponível em: <<http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?id=134830>>.

OLIVEIRA, S. D. A. **OS MATERIAIS INTELIGENTES E SUAS APLICAÇÕES**. Rio de Janeiro: Federal University of Rio de Janeiro, 2013.

OLIVEIRA, S. D. A.; SAVI, M. A. Os materiais inteligentes e suas aplicações.

**ResearchGate**, Rio Janeiro, Janeiro 2013. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/282480381\\_Os\\_Materiais\\_Inteligentes\\_e\\_suas\\_Aplicacoes](https://www.researchgate.net/publication/282480381_Os_Materiais_Inteligentes_e_suas_Aplicacoes)>. Acesso em: 24 Setembro 2017.

PEREIRA, I. Aprenda a utilizar o sensor de tensão com Arduino. **Autocore**, 15 Janeiro 2017. Disponível em: <<http://autocorerobotica.blog.br/aprenda-utilizar-o-sensor-de-tensao-com-arduino/>>. Acesso em: 4 Outubro 2017.

PERLINGEIRO, A. R.; PIMENTA, G. M.; SALVINO DA SILVA, E. GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS, Rio de Janeiro, Julho 2016.

PORTAL BRASIL. Fontes hidráulicas geram a maior parte da energia elétrica. **PORTAL BRASIL**, 28 jul. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/fontes-hidraulicas-geram-a-maior-parte-da-energia-eletrica>>.

REIS, L. B. D. **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. Barueri: Manole, 2011.

SILVA, L. F.; CARVALHO, L. M. A Temática Ambiental e o Ensino de Física na Escola Média: Algumas Possibilidades de Desenvolver o Tema Produção de Energia Elétrica em Larga Escala em uma Situação de Ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, p. 15, 2002.

SOUZA, F. Arduino Uno. **Embarcados**, 29 Novembro 2013. Disponível em:

<<https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>.

SOUZA, F. D. S. Sistema de Extração de Potência (Power Harvesting) usando Transdutores Piezelétricos. **Feis.Unesp**, Agosto 2011. Disponível em:

<[http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/294-dissertacao\\_flavilene.pdf](http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/294-dissertacao_flavilene.pdf)>. Acesso em: 01 Out 2017.

THOMSEN, A. O que é Arduino? **FlipFlop**, 2 Setembro 2014. Disponível em:

<<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>.

WEBTRONICO COMPONENTES ELETRÔNICOS. Arduino UNO R3. **webtronico**, 2017.

Disponível em: <<http://www.webtronico.com/arduino-uno-r3.html>>. Acesso em: 17 Outubro 2017.

## APÊNDICE A – CODIGO SEMÁFORO

```
// Define os pinos 8,9 e 10 como saída
void setup() {
  pinMode(8,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
}

void loop() {
  //Controle dos leds
  digitalWrite(8,HIGH); //Liga o led
  delay(5000);          //espera 5 segundos
  digitalWrite(8,LOW); //Desliga o led

  // led amarelo
  digitalWrite(9,HIGH); //Liga o led
  delay(3000);          //espera 3 segundos
  digitalWrite(9,LOW); //Desliga o led

  // led vermelho
  digitalWrite(10,HIGH); // Liga o led
  delay(5000);          //espera 5 segundos
  digitalWrite(10,LOW); //Desliga o led
}
```