



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - Uniceub**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS**  
**CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

**ANDRÉ LUIZ GOMES FERREIRA**

**PLATAFORMA ENERGÉTICA A PARTIR DE DISCOS PIEZOELÉTRICOS**

**Orientador: Prof.º MSc. Luciano Henrique Duque**

Brasília  
2015

ANDRÉ LUIZ GOMES FERREIRA

**PLATAFORMA ENERGÉTICA A PARTIR DE DISCOS PIEZOELÉTRICOS**

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

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

Brasília

2015

ANDRÉ LUIZ GOMES FERREIRA

## **PLATAFORMA ENERGÉTICA A PARTIR DE DISCOS PIEZOELÉTRICOS**

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

Orientador: Prof.º MSc. Luciano Henrique Duque

### **BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Abiézer Amarília Fernandes**  
**Coordenador do Curso**

---

**Prof. MSc. Luciano Henrique Duque**  
**Orientador**

---

**Prof. MSc. Miguel Eduardo Ordoña Mosquera**

---

**Prof. MSc. Nilo Sérgio Soares Ribeiro**

Brasília

2015

**AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concebido com o dom da vida me abençoando e me guiando em todos os desafios da minha vida.

Agradeço aos meus pais João Bosco Ferreira e Odalia Pereira Gomes Magalhães, que me apoiaram em todos os momentos que precisei me ajudando a vencer todas as etapas da minha vida.

A minha irmã que sempre me ajudou na vida pessoal e acadêmica me fazendo seguir sempre pelo melhor caminho.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo em todos os momentos da minha vida, sempre estando ao meu lado em momentos bons e ruins.

Ao meu professor e orientador Luciano Duque por todo incentivo, apoio e paciência no desenvolvimento desse projeto.

Grato, Andre Luiz.

*“Se você encontrar um caminho sem obstáculos, ele provavelmente não leva a lugar nenhum.”*

Frank Clark

## RESUMO

Esse projeto apresenta um sistema de geração de energia limpa e renovável através de discos piezoelétricos. Essa energia elétrica é gerada devido à pressão realizada nos discos piezoelétricos.

Quando submetido a uma deformação, os transdutores piezoelétricos apresentam um momento elétrico, o qual sua intensidade se dá proporcionalmente ao esforço aplicado.

Tal solução visa apresentar mais uma forma alternativa de geração de energia para futuramente substituir os combustíveis fósseis, os quais estão se esgotando devida sua utilização em larga escala. Outro problema dos combustíveis fósseis é a liberação de gases que provocam o efeito estufa.

Dessa forma, para o bom funcionamento do projeto, e para uma melhor captação de energia, tal plataforma deve ser alocada em locais de grande fluxo de pessoas como shows, shoppings e escolas, pois quanto maior o número de passos na superfície do projeto, maior a quantidade de energia gerada.

**Palavras chaves:** Piezoelectricidade, energia limpa e renovável.

## **ABSTRACT**

This study presents a system of clean and renewable energy generation through piezoelectric discs. This electricity is generated due to pressure held in the piezoelectric discs.

When subjected to a deformation, the piezoelectric transducers have an electric moment, which the intensity is given in proportion to the applied stress.

This solution aims to present an alternative form of energy generation to eventually replace fossil fuels, which are being depleted by their large-scale use. Another problem of fossil fuels is the release of gases that cause the greenhouse effect.

Thus for the smooth running of the project, the transducers are arranged in a platform that must be allocated in high-traffic venues such as concerts, shopping malls and schools since the greater the number of steps on the surface of the project, the greater the amount of energy generated.

**Key words:** Piezoelectricity, clean and renewable energy.

## Lista de figuras

Figura 1. 1- Porcentagem de oferta de energia no Brasil .....	12
Figura 2. 1 - Efeito Estufa .....	19
Figura 2. 2 - Hidrelétrica .....	20
Figura 2. 3 - Fazenda Eólica.....	21
Figura 2. 4 - Usina Fotovoltaica.....	22
Figura 2. 5 - Biomassa .....	23
Figura 2. 6- Efeito Piezoelétrico .....	25
Figura 2. 7- Efeito piezoelétrico inverso.....	26
Figura 2. 8- Modelo Molecular para explicação do efeito piezoelétrico: a) molécula padrão; b) molécula sendo sujeita a uma força c) Efeito da polarização na superfície. ....	27
Figura 2. 9- Arduino uno.....	29
Figura 2. 10 - Esquemático Elétrico Arduíno uno.....	30
Figura 2. 11 - Arduino IDE .....	31
Figura 2. 12- Retificador de Onda Completa .....	32
Figura 2. 13 - Forma de Onda da Tensão no Retificador .....	33
Figura 2. 14 - Diagrama de bloco de uma fonte com regulador.....	35
Figura 2. 15 - Reguladores 78XX e 79XX.....	35
Figura 2. 16- - Divisor de Tensão .....	37
Figura 2. 17 - Circuito com resistor de shunt.....	39
Figura 3. 1- Diagrama de Blocos .....	40
Figura 3. 2 - Disposição dos componentes da plataforma.....	42
Figura 3. 3 - Deformação do disco Piezoelétrico .....	42
Figura 3. 4 - Ligação Discos Piezoelétricos em Série.....	43
Figura 3. 5- Fontes Ligados em série .....	44
Figura 3. 6 – Fontes Ligadas em Paralelo .....	44
Figura 3. 7- Anulação dos sinais de corrente .....	45
Figura 3. 8 - Discos Piezoelétricos.....	45
Figura 3. 9 - Parte inferior da plataforma.....	46
Figura 3. 10- Ponte retificadora.....	47
Figura 3. 11 - Funcionamento da Ponte Retificadora.....	47
Figura 3. 12 - Função do Capacitor.....	48
Figura 3. 13 - Regulador de Tensão .....	49
Figura 3. 14 - Power Bank .....	50
Figura 3. 15 - Divisor de Tensão e Arduino.....	51
Figura 3. 16 - Divisor de Tensão no projeto.....	52
Figura 3. 17 - Sensor de corrente via divisor de tensão .....	53
Figura 3. 18 - Sensor de corrente .....	54
Figura 4. 1- Tensão X Corrente.....	56
Figura 4. 2 - Potência X Pressão .....	57
Figura 4. 3 - Potência dos discos Piezoelétricos .....	58
Figura 4. 4 - Sinal AC .....	60
Figura 4. 5 - Sinal DC.....	61



## Lista de Tabelas

Tabela 2. 1-Energia Elétrica no Brasil em GWh.....	24
Tabela 4. 1- Energia Gerada.....	56
Tabela 4. 2 - Custo do Projeto.....	61

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	11
1.1. Objetivos do Trabalho .....	14
1.1.1. Metodologia .....	14
1.3. Motivação.....	16
1.4. Resultados esperados .....	16
1.5. Estrutura do trabalho.....	17
CAPITULO 2- REFERENCIAL TEORICO .....	18
2.1. Energia.....	18
2.1.1. Energia Hidrelétrica.....	20
2.1.2. Centrais Eólicas.....	21
2.1.3. Energia Solar via placas fotovoltaicas .....	21
2.1.4. Biomassa .....	22
2.2. Energia no Brasil.....	23
2.3. Componentes .....	25
2.3.1. Transdutor Piezoelétrico .....	25
2.3.2. Plataforma Arduino .....	28
2.3.4. Reguladores de Tensão .....	34
2.3.5. Sensor de Tensão .....	36
2.3.6. Sensor de Corrente.....	38
CAPITULO 3 - Desenvolvimento .....	40
3.1. Descrição do projeto .....	40
3.2. Conversão de energia.....	41
3.3. Retificador e Redutor de Tensão.....	46
3.4. Armazenamento de Energia.....	49
3.5. Sensor de tensão .....	50
3.6. Sensor de corrente .....	52
CAPITULO 4 - Testes e Resultados Alcançados .....	55
4.1 Cenário um .....	55
4.2 Cenário dois.....	59
4.3 Cenário três.....	60
4.4 Estimativa de custo do Projeto .....	61
CAPITULO 5 – Considerações Finais .....	62
5.1 Conclusões.....	62
5.2 Propostas de trabalhos futuros.....	63

REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICE A - CODIGO LEITOR DE TENSÃO E CORRENTE.....	66

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

O uso de energia sempre teve papel fundamental para os seres humanos desde as civilizações antigas, contribuindo assim para o seu desenvolvimento. Inicialmente se utilizavam a força dos ventos, rios e lenhas como fontes energéticas, e por não haver grande demanda, tais fontes supriam facilmente as necessidades. (FRAGMAQ, 2013)

Com o decorrer dos anos houveram grandes avanços tecnológicos além de um grande crescimento populacional e industrial, fazendo com que a demanda por energia aumentasse significativamente, tornando se necessárias fontes energéticas mais robustas como os combustíveis fósseis que são facilmente encontrados na natureza. (FRAGMAQ, 2013)

Devido à grande abundância de combustíveis fósseis na natureza e seu preço inicialmente reduzido, a utilização dessa nova fonte energética possibilitou um grande desenvolvimento no meio industrial, porém as crescentes demandas por esses recursos energéticos fizeram com que suas reservas fossem se esgotando rapidamente e o seu preço aumentasse consideravelmente. (FRAGMAQ, 2013)

Além de serem recursos finitos, a utilização desenfreada de combustíveis fósseis se revelou um grande inimigo do meio ambiente, pois sua utilização promove a liberação de gases causadores do efeito estufa, provocando assim o aumento da temperatura terrestre. (FRAGMAQ, 2013)

Os principais recursos utilizados pelos países industrializados e pelos países em desenvolvimento são os derivados do petróleo, que por serem recursos não renováveis e poluentes, tem sua permanência no mercado ameaçada.

Atualmente vivemos uma crise energética mundial devido a nossa base energética estar fixada em recursos não renováveis, com isso se tem uma ameaça ao crescimento econômico, pois suas demandas ilimitadas não estão sendo supridas devido aos recursos escassos. (REDAÇÃO PENSAMENTO VERDE, 2014)

O Brasil segue o fluxo dos demais países, e devido à falta de preocupação do governo com o assunto, enfrenta a pior crise energética de sua história. A razão dos problemas nacionais de energia se dá pelo fato que quase 70% de toda energia consumida no país, é originada de hidroelétricas, que necessitam de água em níveis satisfatórios para produzir

energia, e atualmente vivemos um forte período de estiagem e de elevadas temperaturas. (PORTAL BRASIL, 2011)

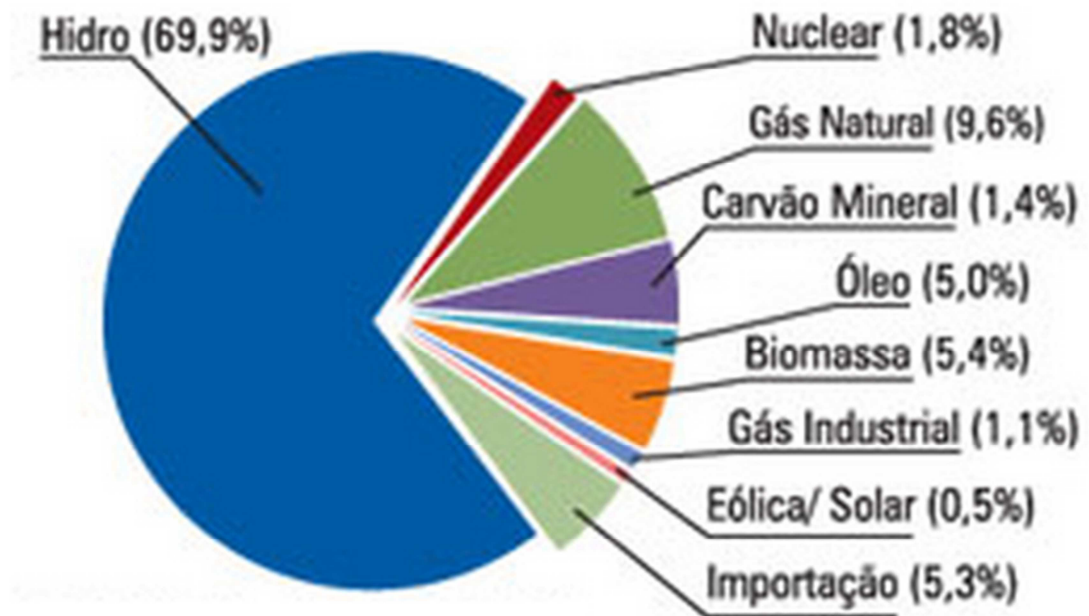


Figura 1. 1- Porcentagem de oferta de energia no Brasil

(Fonte: <http://cienciaecultura.bvs.br/img/revistas/cic/v63n2/a03grf01.jpg>)

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. (Joel Gomes Moreira Filho, 2014).

O Operador Nacional do sistema elétrico (ONS) indica que os responsáveis pela distribuição de energia diminuíam o fornecimento da mesma, entretanto com o constante crescimento populacional no Brasil a demanda por energia só aumenta, fazendo com que possivelmente se inicie uma série de apagões. (FILHO, 2014)

Como solução para o problema do modelo energético adotado mundialmente que é baseado em combustíveis fósseis e finitos, seria necessário a migração desse modelo para um modelo sustentável, fundamentado em energias limpas e renováveis.

Contudo, a mudança para esse tipo de modelo iria requerer um tempo de adaptação, e um maior investimento dos governos, pois atualmente o custo para implementar esse tipo de fonte

energética ainda é elevado, todavia futuramente pode ser a nossa única alternativa para a problemática energética, devido aos nossos recursos fósseis estarem se esgotando.

Existem variadas formas de energias limpas e renováveis bem difundidas no mundo, e que são de grande conhecimento popular como energia eólica, solar, energia das marés e o biogás. (FRAGMAQ, 2013)

Outra maneira de gerar energia limpa e renovável é através de materiais piezoelétricos. Quando submetidos a algum estresse mecânico, geram uma diferença de potencial podendo assim ser utilizado para gerar corrente elétrica.

A palavra piezeletricidade prove do grego *piezein*, o qual significado é pressionar, e da palavra eletricidade, de forma que o termo representa a geração de energia elétrica através da compressão de determinados materiais. Baseado na propriedade dos materiais piezelétricos de gerar corrente elétrica, juntamente com a necessidade de novas fontes de energia limpa e renovável para substituir os combustíveis fósseis, a proposta desse trabalho é apresentar uma forma de aproveitar a energia dos passos dos seres humanos utilizando os materiais citados anteriormente.

Segundo a ONU existem aproximadamente 7,2 bilhões de pessoas no mundo, e esse número só tem a aumentar, pois com o passar do tempo as taxas de natalidade aumentam, e as taxas de mortalidade diminuem cada vez mais, devido ao desenvolvimento na área da saúde. (AGÊNCIA ESTADO, 2013)

Devido a esse cenário, a cada segundo são dados milhões de passos no mundo inteiro, cada passo gera uma quantidade de energia mecânica que atualmente está sendo desperdiçada.

Nesse cenário, o projeto visa captar a energia mecânica gerada pelas passadas e transformá-la em energia elétrica utilizando uma plataforma com material piezoelétrico. Assim o projeto visa ir de encontro à necessidade energética mundial, pois a demanda por energia só tem a crescer e são necessárias fontes energéticas alternativas.

Para uma melhor captação de energia e um melhor aproveitamento do projeto, a plataforma precisa estar localizada em locais de grande circulação de pessoas, como shoppings, shows e academias, pois quanto maior a intensidade da força mecânica, mais energia será convertida.

## 1.1. Objetivos do Trabalho

O objetivo geral do projeto é desenvolver um mecanismo que capte a energia mecânica gerada pelas passadas humanas e as converta em energia elétrica, fazendo assim possível carregar uma bateria para ser utilizado em fins diversos, como carregar um celular.

Os objetivos específicos visam atingir o geral, nesse contexto, seguem os específicos:

- a) Elaborar uma plataforma que quando pressionada seja capaz de deformar os discos piezoelétricos a fim de captar energia mecânica das passadas;
- b) Converter Energia mecânica em energia elétrica, utilizando a propriedade piezoelétrica dos transdutores presentes na plataforma;
- c) Desenvolver uma ponte de diodos a fim de converter o sinal AC para DC, para melhor utilização dessa energia;
- d) Desenvolver um hardware via Arduino e sensor, para a medição da quantidade de energia gerada pela plataforma;
- e) Desenvolver um software através do Arduino para o auxílio na manipulação dos dados coletados pelo sensor de corrente;
- f) Transportar a energia gerada e carregar a bateria;
- g) Transportar a energia armazenada na bateria para o dispositivo móvel a fim de carregá-lo;
- h) Realizar testes para verificar se a plataforma está se comportando da maneira desejada, com todos os componentes funcionando, e verificando também se não existem ligações mal feitas entre transdutores piezoelétricos.

### 1.1.1. Metodologia

Para auxiliar nos problemas da crise energética e os problemas do meio ambiente causado pelos combustíveis fósseis, surge a proposta de gerar energia de baixo dano ambiental. Visando a viabilização do projeto, a metodologia é dividida em etapas, como se segue:

1ª Etapa: Essa etapa inicial tem como objetivo, o estudo bibliográfico dos seguintes temas:

- a) Maneira simples de viabilizar a transformação de energia mecânica em energia elétrica;
- b) A propriedade piezoelétrica de alguns cristais a fim de utilizá-la para gerar energia;

- c) Comportamento de diodos retificadores, para a elaboração de um circuito retificador a fim de converter o sinal elétrico AC em DC para o carregamento do Power Bank;
- d) Estudo da linguagem de programação do Arduino e seus registros e entradas.

2ª Etapa: Essa etapa consiste em elaborar uma camada de discos piezoelétricos ligados em paralelo para gerar e conduzir a energia para o circuito retificador. Nessa etapa, estudo, observações e testes são realizados para determinar a capacidade de geração de energia elétrica do módulo que será proposto.

3ª Etapa: Essa etapa visa construir uma plataforma com pequenos blocos de espuma, que está em cima dos transdutores piezoelétricos. Na parte superior (topo) das espumas é disposta uma placa de madeira para captar e guiar a força mecânica até os discos piezoelétricos. Nesse contexto, a etapa permite desenvolver e detalhar o módulo principal do projeto, que é o gerador de energia elétrica através do esforço mecânico.

4ª Etapa: Desenvolver um circuito retificador, fazendo uso de ponte retificadora, que é disposta entre a camada de transdutores piezoelétricos. O retificar converte o sinal AC gerado pelo material piezoelétrico em sinal DC, capaz de alimentar uma carga, por exemplo, um celular. Um cabo USB na saída da ponte de transdutores retificadores transporta a energia gerada para a bateria.

5ª Etapa: Projetar um circuito e um software via Arduino para medir tensão, corrente e potência elétrica gerada pela plataforma proposta. Para medir a tensão é elaborado um circuito de divisor de tensão e para medir corrente é utilizado um sensor de shunt. Nessa etapa, o módulo Arduino, passa por testes operacionais e os valores da tensão e corrente medidas serão aferidos, fazendo uso de instrumentos de medidas, por exemplo, o multímetro.

6ª Etapa: Essa etapa consiste e realizar testes de funcionamento da plataforma verificando o comportamento e o transporte da energia gerada pelos discos piezoelétricos. Os testes são realizados fazendo uso de instrumentos de medidas tais como: multímetro, osciloscópio e medidor de energia elétrica. Nessa etapa também são realizados ajustes necessários no protótipo e adequação do mesmo em uma caixa.



### **1.3. Motivação**

Estamos vivendo tempos de crise energética, pois nossas fontes primárias estão se esgotando devido à alta demanda.

Além da necessidade por energia, existe outro grande problema que diz respeito aos combustíveis fósseis estarem agredindo o meio ambiente.

Com isso, se faz necessário a busca por novos modelos energéticos baseados em fontes limpas, renováveis e que não causem um impacto ambiental.

Dessa forma uma fonte energética que aproveite a energia mecânica desperdiçada das passadas humanas e a transforme em energia elétrica, serviria como mais uma fonte alternativa e renovável para auxiliar a geração de energia alternativa.

### **1.4. Resultados esperados**

Almeja-se com esse projeto gerar, energia limpa e renovável através das passadas utilizando uma plataforma com 30 transdutores piezoelétricos distribuídos uniformemente em um retângulo de seis discos x cinco discos, a fim de captar a energia mecânica gerada pelas passadas e converte-las em energia elétrica.

A energia gerada em miliamperes pela plataforma deverá alimentar um Power Bank de 2600mAh. Anseia-se que a quantidade de corrente em torno de 150 mA por pisada, originada pelo projeto possa ser capaz de carregar totalmente um dispositivo móvel cujo a bateria tem potência de 1500mAh.

Com um maior investimento nesse tipo de tecnologia e a sua aplicação em larga escala a piezoeletrecidade pode ser parte da solução para os problemas da crise energética e dos combustíveis fósseis.

## **1.5. Estrutura do trabalho**

O Trabalho será disposto da seguinte maneira. Capítulo um é a parte introdutória do projeto onde se mostra uma visão geral sobre o assunto tratado, problema a ser solucionado e os objetivos.

No capítulo dois será abordado o embasamento teórico a fim de melhorar o entendimento de como funciona a solução apresentada.

O capítulo três apresentará detalhadamente a solução proposta especificando os processos de desenvolvimento do projeto.

O capítulo quatro abordará o estudo dos resultados obtidos através do sistema proposto.

Finalmente o capítulo cinco fecha o trabalho com as conclusões que foram desenvolvidas no decorrer do projeto e as sugestões para projetos futuros.

## CAPITULO 2- REFERENCIAL TEORICO

### 2.1. Energia

A energia tem papel fundamental em nossas vidas, ela é encontrada em variados setores da sociedade como, transporte, economia e trabalho, além disso, a utilizamos o tempo inteiro em nosso dia-dia, através da iluminação das nossas residências, eletrodomésticos e outros. (GELLER, 2002)

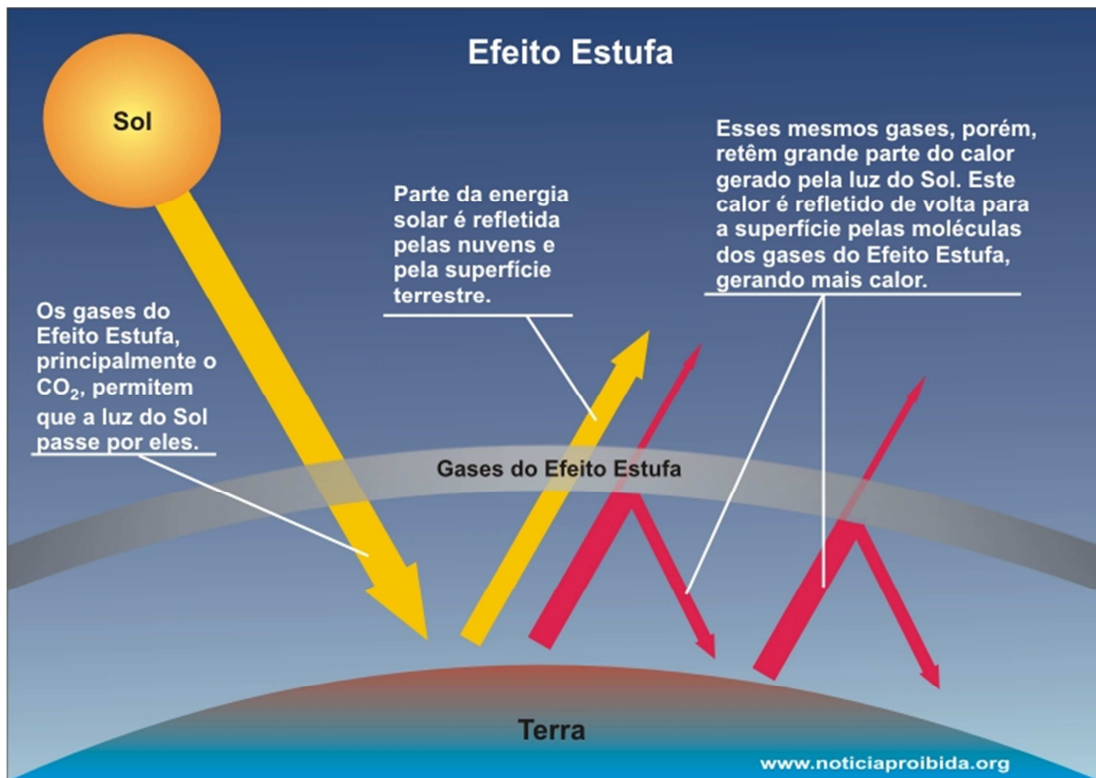
Em um futuro próximo o planeta terra irá sofrer com a escassez de energia devido à vasta demanda causada pelo número de habitantes que está em constante crescimento, e pelo esgotamento das nossas atuais fontes energéticas. Este problema envolve uma série de problemas como, sociais, econômicos e geográficos. O consumo de energia elétrica no mundo em 2010 foi de 15 trilhões de quilowatts x hora, o que é uma considerável quantidade de energia sendo consumida, e isso vêm se tornando um grande problema, já que é um número elevado e com o passar dos anos esse número só tem a aumentar, sendo a previsão do consumo para 2030 de 30 trilhões quilowatts x hora. (IEO, 2010)

Para suprir essa demanda, desde os anos 70 os combustíveis fósseis são utilizados em larga escala como principal forma de energia, devido sua grande abundancia na natureza e seu preço inicialmente baixo. Isso fez com que se criasse uma dependência do ser humano com relação à energia elétrica, fazendo com que as grandes empresas petrolíferas se tornassem grandes e umas das mais lucrativas empresas do mundo. (GELLER, 2002)

Contudo, existem grandes problemas em se utilizar os combustíveis fósseis como fonte de energia. Os gases liberados na queima desse tipo de fonte energética são tóxicos, prejudicando assim a saúde das pessoas e animais, além de causar desequilíbrio no ecossistema.

O principal problema da queima de combustíveis fósseis é liberação de dióxido de carbono, e enxofre que são os grandes responsáveis pelo efeito estufa, fenômeno que tem como característica o aumento da temperatura média da terra, causando uma série de mudanças no nosso ecossistema. (GELLER, 2002)

A figura 2.1 ilustra como acontece o efeito estufa.



*Figura 2. 1 - Efeito Estufa*

(Fonte: Noticiaproibida.org)

Além de serem grandes causadores de prejuízo na natureza, os combustíveis fósseis são finitos e estão começando a ficar escassos no nosso planeta, dessa forma acontecem muitas mudanças no mundo, pois recursos o qual somos extremamente dependentes estão começando a não ser tão abundantes como antigamente, fazendo com que o seu preço de mercado aumente de forma considerável. Isso vem se tornando um grande motivador para fontes alternativas de energia renovável e não poluentes. (FRAGMAQ, 2013)

Devido ao aumento da preocupação ambiental surgiram diversas pesquisas e estudos na área de produção de energia, possibilitando a criação de diversas tecnologias para substituição dos combustíveis fósseis. Atualmente contamos com variadas formas alternativas de geração de energia sustentável no mundo, como por exemplo, utilizando de força da água, força dos ventos e a partir dos raios solares. (TOLMASQUIM, 2004)

A seguir falaremos de alguns dos tipos de energias alternativas e sustentáveis que podem ajudar a substituir os combustíveis fósseis de maneira limpa e renovável afim de não enfrentarmos a mesma crise energética futuramente.

### 2.1.1. Energia Hidrelétrica

A geração de energia através de hidroelétricas utiliza a água de barragens ou represas que se encontram em locais com níveis mais altos, como forma de gerar movimento de turbinas que se encontram em um nível mais baixo. A água corrente faz girar uma turbina hidráulica transformando a energia hidráulica em energia mecânica. Essa turbina rotaciona o rotor de um gerador elétrico, com esse giro acontecem interações magnéticas transformando assim energia mecânica em elétrica. Apesar da grande capacidade de gerar energia e não emitir gases poluentes, as usinas hidroelétricas causam consideráveis prejuízos à natureza no local onde ela foi construída, pois ocorre a inundação de grandes espaços de terra, destruindo o ecossistema a sua volta, além de afetar diretamente as comunidades que utilizam aquele rio como forma de sustento, já que pode prejudicar a pesca. (HINRICHS e KLEINBACH, 2011)

Outro problema desse tipo de geração de energia é a dependência do nível de água do local onde ele foi instalado, se houver poucas chuvas e o nível de água estiver baixo a produção de energia ficará comprometida.

A figura 2.2 representa uma usina hidroelétrica juntamente com seus componentes

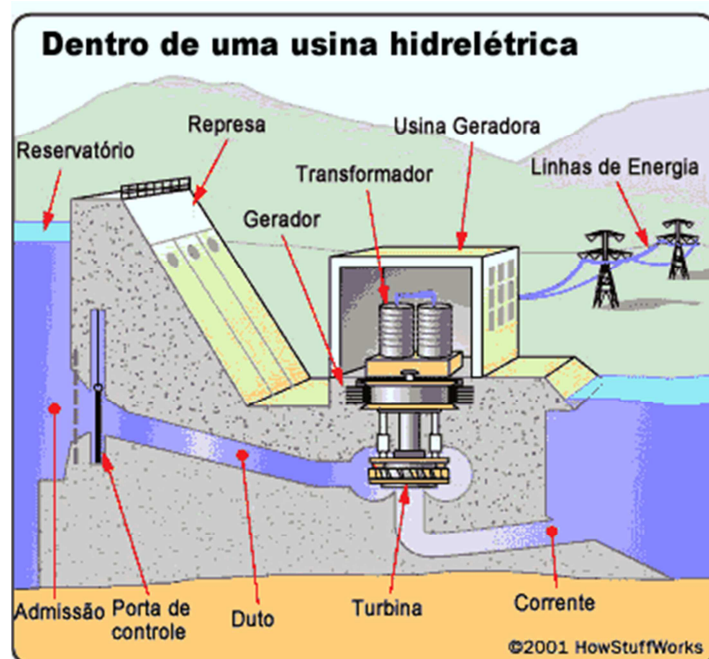


Figura 2. 2 - Hidrelétrica  
(Fonte: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/usinas-hidreletricas1.htm>)

### 2.1.2. Centrais Eólicas

A forma de geração de energia elétrica através dos ventos é considerado uma das alternativas que menos causam impacto no meio ambiente, e com perspectivas de gerar quantidades significativas de energia. A energia eólica é a energia cinética contida nos ventos e a produção de energia acontece da seguinte forma: as hélices captam a energia eólica transformando-a em mecânica, através disso acontece o giro do eixo de um gerador de eletricidade convertendo a energia mecânica em elétrica. Tal forma de geração de energia depende da quantidade e da velocidade do vento, quanto maior essas variantes, melhor será a produção de energia. (CAMPOS, 2004)

Alguns pontos negativos da energia eólica são a necessidade de utilização de grandes áreas para a implementação do projeto, poluição sonora causada pelos ruídos das hélices rodando e a possível colisão de pássaros com as pás. (REIS, 2011)

A figura 2.3 ilustra uma fazenda eólica com hélices de captação de vento.



Figura 2. 3 - Fazenda Eólica  
(Fonte: [www.corbisimages.com](http://www.corbisimages.com))

### 2.1.3. Energia Solar via placas fotovoltaicas

Esse tipo de tecnologia permite a geração de energia elétrica de maneira limpa e segura, utilizando os raios solares que são recursos energéticos inesgotáveis. A eletricidade via placas fotovoltaicas não produz nenhum tipo de poluentes em sua utilização, contudo existe uma baixa emissão de poluentes no processo de produção de seus componentes.

Uma desvantagem dessa forma de energia alternativa é o seu custo elevado quando comparado à tarifa aplicada ao consumidor residencial. (ZILES e BENEDITO, 2012)

Nesse tipo de geração de energia utilizam-se placas com um aglomerado de células fotovoltaicas onde se transforma diretamente energia solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. (TEXEIRA, RODRIGUES e BRAGA, 2003)

O efeito fotovoltaico foi descoberto pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel no ano de 1839 e consiste na capacidade de um material semicondutor gerar tensão elétrica quando é exposto a uma luz visível.

A figura 2.4 mostra placas fotovoltaicas dispostas para a captação de energia solar.



Figura 2. 4 - Usina Fotovoltaica

(Fonte: <http://unienergia.net/noticia-detalhes/1575>)

#### **2.1.4. Biomassa**

Biomassa é o nome dado aos materiais de origem orgânica que normalmente são desperdiçados nos processos industriais. Esses restos podem ser utilizados de diversas maneiras, como na produção de calor e energia. Para a produção de energia elétrica via biomassa se utilizam bagaço da cana de açúcar, galhos, folhas de árvores e outros, como combustíveis para usinas termelétricas.

A combustão de materiais orgânicos provoca a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, entretanto essa quantidade CO<sub>2</sub> já havia sido absorvida pelas plantas que originaram o combustível, fazendo com que o balanço da emissão seja nulo.

Apesar de também serem derivados da vida vegetal, carvão e petróleo não fazem parte da definição de biomassa, pois os mesmos são resultados de variadas transformações que requerem milhões de anos para serem realizadas. Outro fator para os elementos citados não entrarem no conceito de biomassa se dá pelo fato de que carvão e petróleo não são recursos renováveis. (PESQUISA, 2010)

A figura 2.5 mostra o ciclo da produção de energia via biomassa.

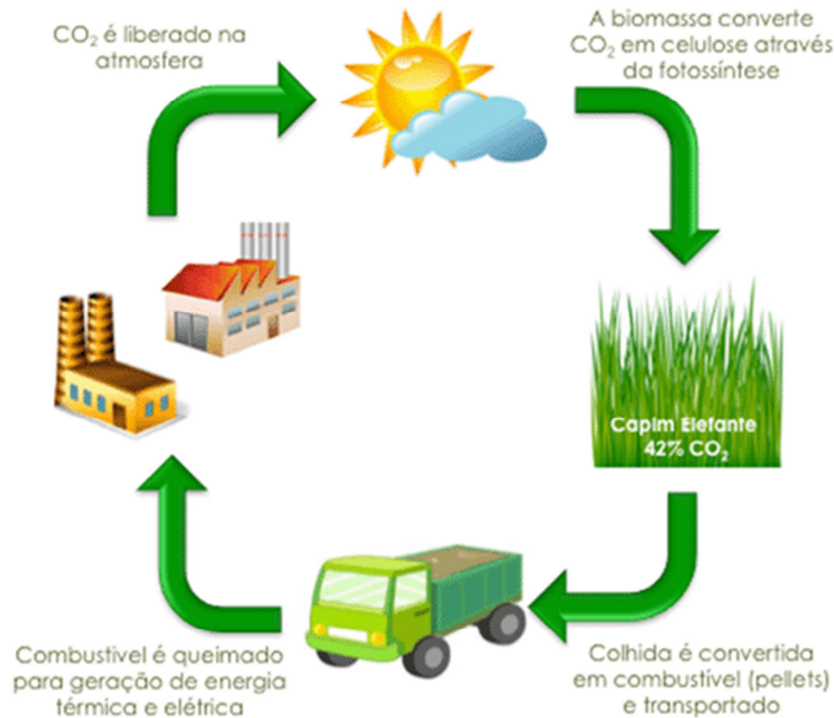


Figura 2. 5 - Biomassa

(Fonte: [http://www.pelletsnordeste.com/?page\\_id=51&lang=pt-br](http://www.pelletsnordeste.com/?page_id=51&lang=pt-br)).

## 2.2. Energia no Brasil

A atenção para novas fontes de energia aumenta com o passar dos anos, existem crescentes investimentos em tecnologias capazes de gerar energia elétrica de maneira sustentável.

A produção energética do Brasil é predominantemente baseada em hidroelétricas devido ao histórico de abundantes recursos hídricos existentes no nosso país, porém tal forma de geração tem apresentado grandes problemas. Para a construção de uma barragem ou represa utilizada na produção de usinas hidroelétricas é necessário à inundação de vastas áreas de terra, o que influencia diretamente na nossa fauna e flora, eliminando totalmente a vegetação



do local e tirando algumas espécies de animais de seu habitat natural. (HINRICHS e KLEINBACH, 2011)

Atualmente enfrentamos outro problema com relação à energia hidroelétrica no Brasil, estamos enfrentando um período de estiagem sem precedentes na história do país, a seca está evidente em cinco das dez maiores regiões metropolitanas brasileiras, São Paulo, Rio de Janeiro, Campinas, Recife e Belo Horizonte onde estão localizados 48 milhões de pessoas, ou seja, um quarto da população brasileira. Especialistas afirmam que o impacto causado pela crise hídrica poderá ser sentido por oitenta milhões de brasileiros. E como dito anteriormente, nossa base energética está fixada em hidroelétricas, por esse motivo o Brasil passa por uma grande crise energética. (SIZA, 2015)

Apesar de a seca ser um dos grandes motivos da crise energética brasileira ela não é a única, o governo também tem grande parcela da culpa, pois não investiu em diferentes formas de geração de energia, se tornando refém de um único modelo, e dessa forma não se preparou para uma possível seca, já que o Brasil sempre foi símbolo de abundância hídrica. (MARGOLIS, 2015)

Essa crise fez com que o Brasil começasse a investir em outras formas de gerar energia a fim de minimizar os efeitos da seca. Segundo o Balanço Energético Nacional do ano de 2014 que foi divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil tem aumentado a produção de energia elétrica através de formas alternativas e renováveis, como eólica e solar. Dessa forma o país consegue utilizar mais os recursos disponíveis na nossa região e diversificar a forma de produção energética. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014)

Abaixo segue a tabela 2.1 que apresenta o comparativo da geração de energia das principais fontes do país entre os anos de 2012 e 2013.

Tabela 2. 1-Energia Elétrica no Brasil em GWh

Fonte	2013	2012	$\Delta$ 13/12
Hidrelétrica	390.992	415.342	-5,9%
Gás Natural	69.017	46.760	47,6%
Biomassa <sup>1</sup>	39.679	34.662	14,5%
Derivados do Petróleo <sup>2</sup>	22.090	16.214	36,2%
Nuclear	14.640	16.038	-8,7%
Carvão Vapor	14.801	8.422	75,7%
Eólica	6.579	5.050	30,3%
Outras <sup>3</sup>	12.241	10.010	22,3%
<b>Geração Total</b>	<b>570.025</b>	<b>552.498</b>	<b>3,2%</b>

(Fonte – Balanço Energético Nacional do ano de 2014)

## 2.3. Componentes

### 2.3.1. Transdutor Piezoelétrico

A piezoeletrecidade é baseada na capacidade de alguns cristais gerarem uma carga elétrica quando submetidos a uma pressão mecânica, onde sua intensidade é proporcional ao esforço aplicado. O sentido da polarização depende do tipo do esforço aplicado, se a tensão aplicada for tractiva ou compressiva. (GEOVANNAL, 2010)

A figura 2.6 ilustra o efeito piezoelétrico.



Figura 2. 6- Efeito Piezoelétrico

(Fonte: <http://www.ceramtec.com.br/materiais-ceramicos/piezoceramicos/basicos/>)

Posteriormente é descoberto o efeito da piezoeletrecidade inversa, que é definido como a deformação de matérias piezoelétricos, como cerâmica e cristais, quando expostos a potência ou campo elétrico. Entretanto o efeito inverso não segue a mesma proporção da piezoeletrecidade direta, sendo necessária grande quantidade de energia para pequenas deformações. (SOUZA e RIBEIRO, 2013)

Abaixo, na figura 2.7, é representado o comportamento do efeito piezoelétrico inverso.

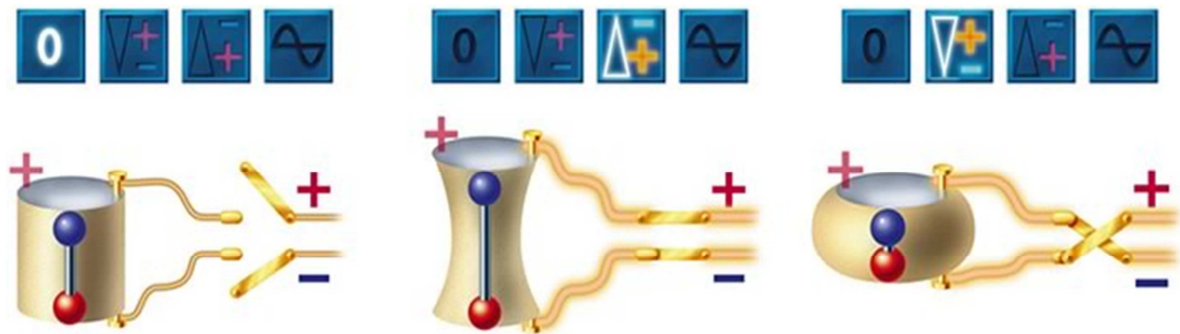


Figura 2. 7- Efeito piezoelétrico inverso

Fonte: (Fonte: <http://www.ceramtec.com.br/materiais-ceramicos/piezoceramicos/basicos/>)

O efeito piezoelétrico foi descoberto em 1880 na França, pelos irmãos Jacques e Pierre Curie, onde em uma determinada pesquisa foi constatado que uma corrente elétrica era gerada quando se submetiam alguns cristais a um estresse mecânico. Em 1881 Gabriel Lippmann deduziu matematicamente, utilizando os princípios fundamentais da termodinâmica, que havia a existência da piezeletricidade inversa, que consiste na mudança de forma dos cristais piezoelétricos quando submetidos a potenciais elétricos. (SOUZA e RIBEIRO, 2013)

Utilizando o efeito piezo inverso é possível um grande desenvolvimento tecnológico, pois as matérias piezoelétricas foram utilizadas como o material para a fabricação de coisas básicas, microfones, toca discos até em coisas mais complexas como sonares que foram utilizados na primeira guerra mundial.

Um das condições necessárias para um cristal ser considerado piezoelétrico é que ele não possua centro de simetria, já que a propriedade física é justamente baseada no fato de o estresse externo não ser o mesmo em todas as direções. Com isso, ao ser exposto a uma tensão mecânica, o material piezoelétrico apresentará uma polarização elétrica. Para o melhor entendimento, analisaremos o efeito em uma molécula neutra, antes de exercer tal partícula a uma força externa, seu centro gravitacional está disposto com cargas positivas e negativas que se anulam. (GEOVANNAL, 2010)

Quando submetido a uma pressão, a molécula se deforma, quebrando o equilíbrio dos centros gravitacionais onde estão as cargas positivas e negativas das partículas, e com esse desarranjo gera um pequeno dipolo. As cargas do interior do polo são eletricamente canceladas e as moléculas positivas e negativas ficam separadas na superfície, ou seja,

polarizando o material. Esta polarização gera um campo elétrico que pode ser utilizada para converter energia mecânica em energia elétrica. (GEOVANNAL, 2010)

A figura 2.8 ilustra o comportamento de uma partícula piezoelétrica quando submetida a uma força mecânica.

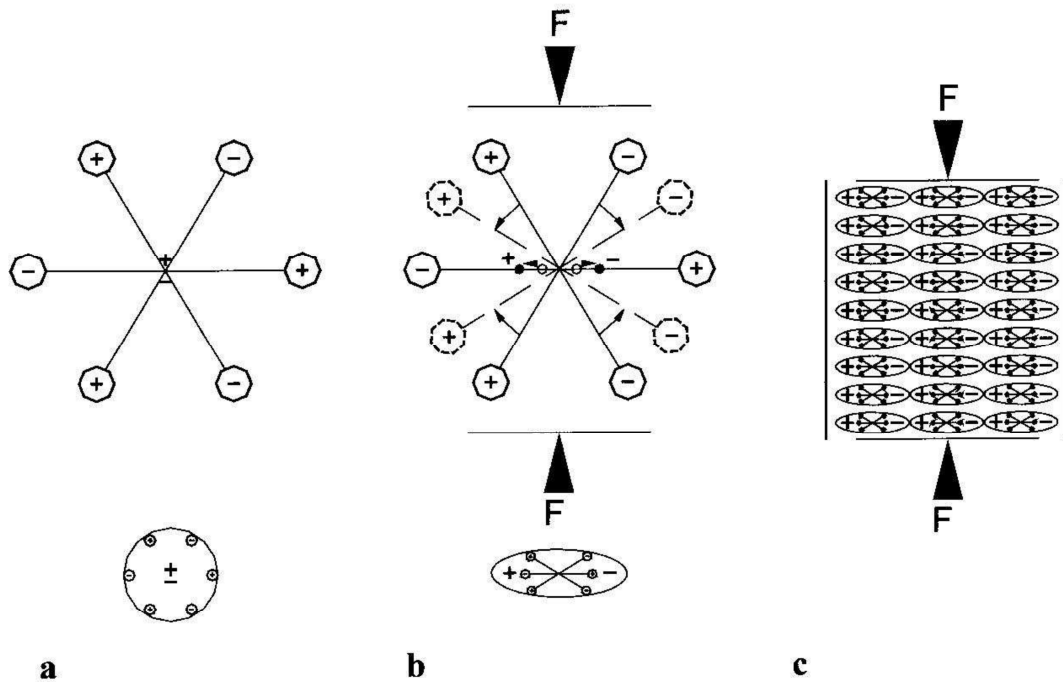


Figura 2. 8- Modelo Molecular para explicação do efeito piezoelétrico: a) molécula padrão; b) molécula sendo sujeita a uma força c) Efeito da polarização na superfície.

(Fonte: [http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/sem1\\_2007/GeovannaL\\_Cotta\\_RF1.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/sem1_2007/GeovannaL_Cotta_RF1.pdf))

Um dos primeiros materiais piezoelétricos descobertos foram os cristais de quartzo que foi bastante utilizado antigamente devido a sua abundância e facilidade de obtê-lo na natureza, entretanto uma desvantagem do quartzo era a necessidade de geradores de alta tensão para excita-los. (GEOVANNAL, 2010)

Devido a essa dificuldade iniciou-se o desenvolvimento de materiais piezoelétricos sintéticos. Em seguida nas décadas de 40 e 50, aconteceu a descoberta e o aperfeiçoamento das cerâmicas piezoelétricas de Titânio de Bário pela URSS e Japão e das cerâmicas piezoelétricas de Titânio Zirconato de chumbo (PZT's) pelos EUA. (PEREIRA, 2010)

O desenvolvimento de cerâmicas piezoelétricas sintéticas foi uma criação revolucionária, pois, além de apresentarem propriedades com melhor desempenho que o cristal de quartzo,

também oferecem dimensões e geometrias flexíveis devido sua fabricação ser através da sinterização de pós-cerâmicos dispostos via prensagem ou extrusão.

Dos dois modelos sintéticos citados anteriormente o mais utilizado atualmente é o PZT.

Demonstração Matemática

A descrição matemática da propriedade piezoelétrica acontece segundo a formula 2.1:

$$D = d\sigma + \varepsilon * E \quad \text{Equação 2. 1}$$

Na formula a acima D representa o vetor deslocamento elétrico, “d” significa o coeficiente piezoelétrico,  $\sigma$  é o valor da tensão mecânica aplicada no material piezoelétrico,  $\varepsilon$  significa a permissividade dielétrica do material e E representa o campo elétrico.

A deformação em um material piezoelétrico causada por um campo externo (Efeito piezoelétrico inverso) obedece a formula 2.2:

$$S = s\sigma + d * E \quad \text{Equação 2. 2}$$

Onde S é a deformação sofrida pelo material piezoelétrico em consequência a exposição do material a um campo externo, “s” é o coeficiente elástico,  $\sigma$  é o valor da tensão mecânica aplicada, “d” significa o coeficiente piezoelétrico e E é o campo elétrico. (SOUZA e RIBEIRO, 2013)

### 2.3.2. Plataforma Arduino

O Arduino é um microcontrolador de hardware e software livres no qual seu objetivo é simplificar a prototipagem e a criação de projetos eletrônicos. Através dele é possível controlar motores, LEDs, e eletrodomésticos a comunicar-se com vários outros aparelhos como smartphones e computadores. Esse controle é feito a partir de instruções de linhas de programação utilizando o wiring que é uma linguagem baseada em C/C++. Foi criado na Itália em 2005, primeiramente e seu propósito era de cunho educacional e aplicações escolares, contudo se tornou um grande sucesso vendendo mais de 50 mil placas em sua fase inicial. (SOUZA, 2013)

O Arduino utilizado no projeto foi o modelo UNO que tem como base um chip ATmega328, possui 14 entradas/saídas digitais, (dessas entradas seis podem ser utilizadas como saídas PWM), 6 entradas analógicas, conexão USB, uma entrada para fonte, botão reset,

ele possui uma voltagem operacional de 5 v, apesar de suportar ate 20 v é recomendado no máximo 12 v. Possui memoria flash de 32kb sendo que 0,5KB são destinados ao *bootloader*, o *clock* do processador é de 16 MHz.

A figura 2.9 mostra a foto de um arduino.

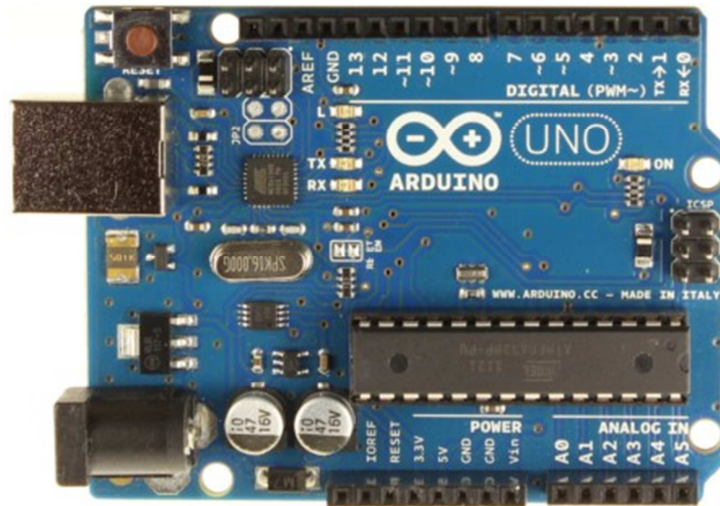


Figura 2. 9- Arduino uno

(Fonte: <http://www.labdegaragem.org/loja/arduino-uno-rev-3-original.html>)

Na figura 2.10 é possível observar o esquemático elétrico do Arduino uno, modelo utilizado no projeto.

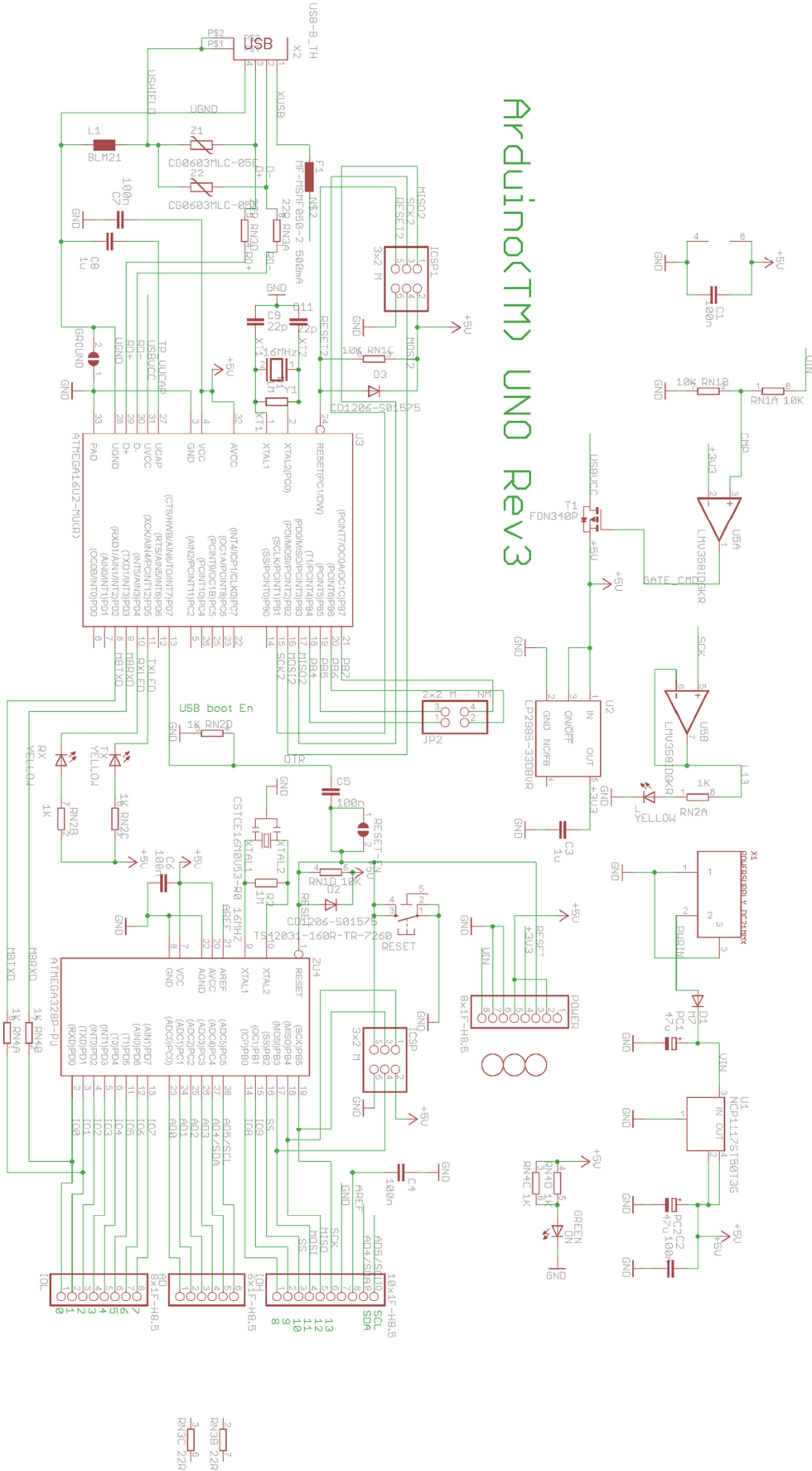


Figura 2. 10 - Esquemático Eléctrico Arduino uno

(Fonte: <https://www.circuitar.com.br/tutoriais/esquema-eletrico-do-arduino-o-guia-definitivo/>)

Para programação no Arduino foi desenvolvido um software chamado Arduino IDE (Integrated Development Environment) desenvolvido na linguagem de alto nível Java. Esse software facilita a elaboração do código através de vários modelos preexistentes dentro da plataforma, e também na detecção de erros de programação, além de tornar a passagem do código para o processador Atmega bem simples com apenas um clique.

Abaixo na figura 2.11 pode se observar o layout do Arduino IDE.

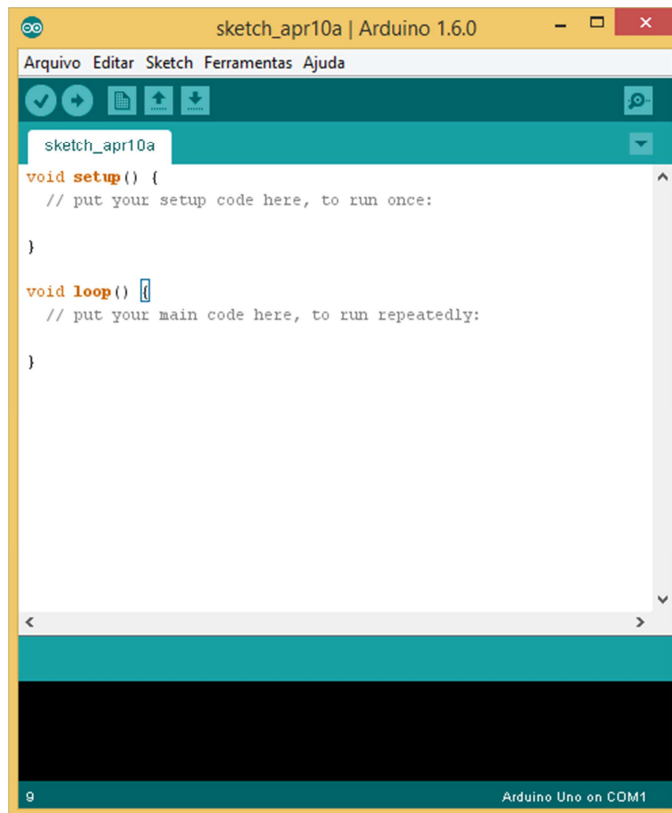


Figura 2. 11 - Arduino IDE



### 2.3.3. Retificador

O retificador, conhecido como conversor CA-CC (corrente alternada para corrente contínua) é um circuito que transforma um sinal elétrico de corrente alternada em um sinal de corrente elétrica contínua. O retificador é o circuito que converte os sinais CA, oriundos da geração piezoelétrica em corrente contínua. Os retificadores não controlados se dividem em meia onda e onda completa. O retificador de meia onda realiza a retificação da metade do semi-ciclo da onda de entrada. (MALVINO e BATES, 2007)

O retificador de onda completa é um dos variados tipos de retificadores existentes, e pode ser desenvolvido a partir de quatro diodos, que são componentes eletrônicos cuja sua propriedade só permite a passagem de corrente em uma única direção. Nessa forma de circuito retificador, a corrente alternada recebida na entrada é convertida em corrente contínua pulsante, sendo indicado um capacitor eletrolítico no desenvolvimento de um retificador a fim de estabilizar a corrente gerada próxima ao valor de picos das ondas que resultam da corrente contínua. A figura 2.12 ilustra o circuito retificador de onda completa. (ARRABAÇA e GIMENEZ, 2014)

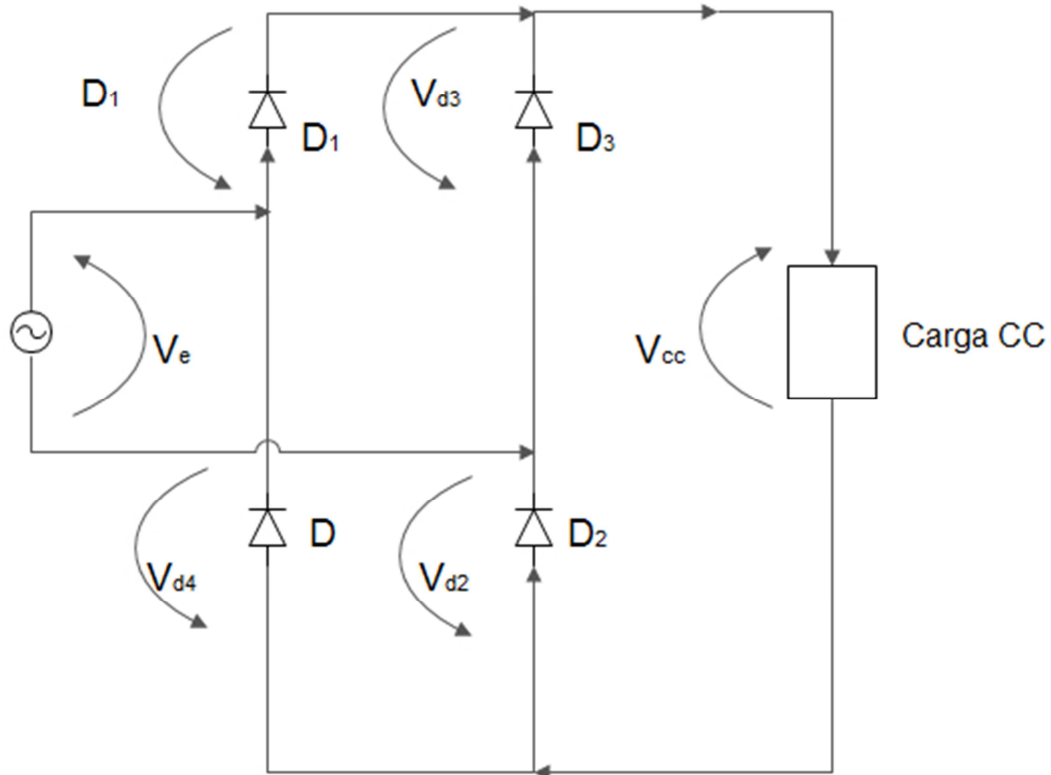


Figura 2. 12- Retificador de Onda Completa

Na figura 2.13 estão dispostos dois gráficos, o gráfico um representa a corrente alternada e o gráfico dois representa a corrente posteriormente a retificação feita pelo retificador de onda completa.

No gráfico dois podemos observar que o período diminui e a frequência dobra em relação ao gráfico 1.

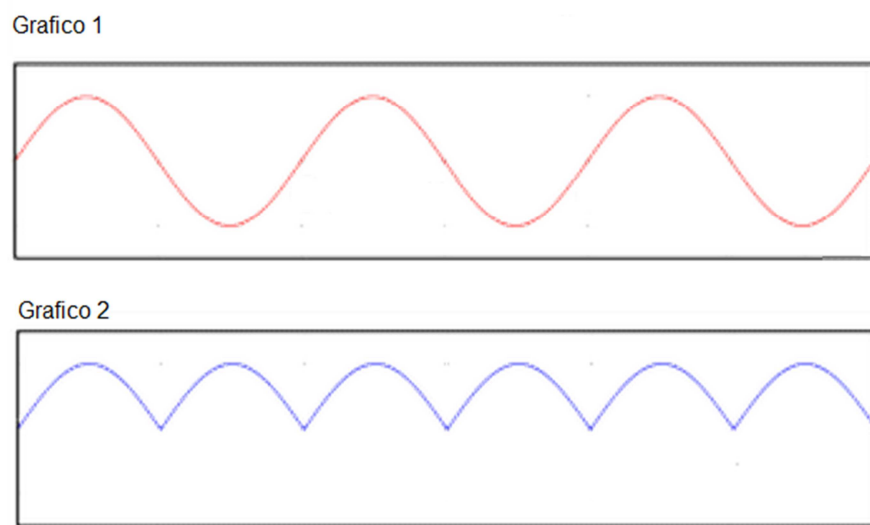


Figura 2. 13 - Forma de Onda da Tensão no Retificador

Finalizando a parte de retificadores são apresentadas as seguintes propriedades de uma ponte retificadora construída a partir de quatro diodos: (MALVINO e BATES, 2007) e (ARRABAÇA e GIMENEZ, 2014)

Na equação abaixo é mostrado matematicamente o processo de um retificador de onda completa onde acontece o espelhamento da parte inferior do sinal.

$$Vp(out) = Vp(in) - 1,4V \quad \text{Equação 2. 3}$$

$$Tensão\ Média\ CC = \frac{1}{\pi} * \int_0^{\pi} Vp(out) * \text{sem}(\theta) * d\theta = \frac{1}{\pi} * \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} Vp(out) * \cos(\theta) * d\theta$$

Equação 2. 4

$$= \left[ \frac{Vp(out)}{\pi} * (-\cos\theta) \right]_0^{\pi} = \left[ \frac{Vp(out)}{\pi} * \text{sen}(\theta) \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \quad \text{Equação 2. 5}$$

$$= \frac{Vp(out)}{\pi} * [\cos(0) - \cos(\pi)] = \frac{Vp(out)}{\pi} * \left[ \text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) - \text{sen}\left(-\frac{\pi}{2}\right) \right] \quad \text{Equação 2. 6}$$

$$= 2 * \frac{Vp(out)}{\pi} \quad \text{Equação 2. 7}$$

$$\text{Frequência de saída} = 2 * f_{in} \quad \text{Equação 2. 8}$$

Com isso podemos provar matematicamente que a frequência da onda retificada apresenta o dobro da frequência da onda alternada.

Nas equações mostradas a cima  $Vp(out)$  e  $Vp(in)$  representam a tensão de pico de saída e de entrada respectivamente, e  $f_{in}$  representa a frequência na entrada do retificador.

#### 2.3.4. Reguladores de Tensão

Os reguladores de tensão são componentes eletrônicos cuja função é ajustar e manter constante mesmo ocorrendo instabilidade na tensão de entrada. Esse componente pode ser implementado a partir de componentes discretos ou podem ser desenvolvidos na forma de circuitos integrados. As vantagens dos reguladores na forma de CI são sua melhor precisão e a compactação do circuito. (WENDLING, 2009)

A figura 2.14 descreve o processo de um sinal de tensão alternada de 127 volts sendo retificado e dessa forma transformando o sinal em contínuo, posteriormente esse sinal passa por um filtro a fim de manter a tensão sempre no pico e em seguida o sinal atravessa um retificador com o objetivo de diminuir a tensão de saída. (WENDLING, 2009)

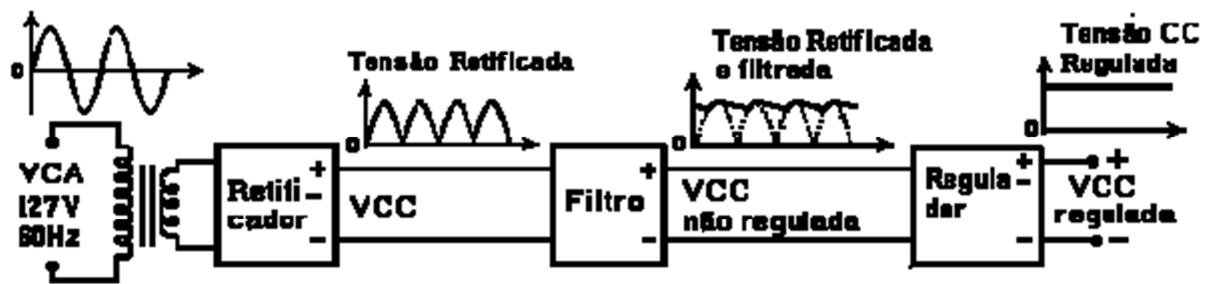


Figura 2. 14 - Diagrama de bloco de uma fonte com regulador

(Fonte: (WENDLING, 2009)).

Existem diversos tipos de reguladores de tensão, dentre eles podemos citar os CIs das series 78xx e 79xx que são para tensão positiva e tensão negativa respectivamente. Nos reguladores de tensão da série 78xx, o pino um é a entrada o pino dois é a terra e o pino três é a saída, já no 79xx os papéis dos pinos um e 2 se invertem sendo o pino um, o terra e o pino dois a entrada. (WENDLING, 2009)

Abaixo, segue a figura 2.15 que representa as duas formas de reguladores de tensão.

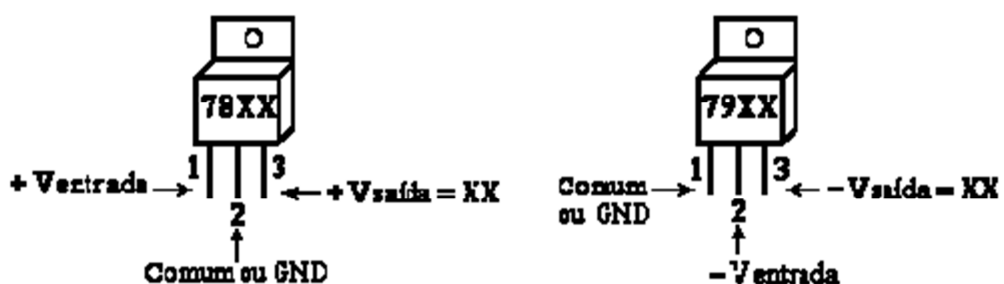


Figura 2. 15 - Reguladores 78XX e 79XX.

(Fonte: (WENDLING, 2009))

No nome da série de reguladores 78XX o “XX” representa a tensão de saída, por exemplo, no 7805 a tensão de saída é de cinco Volts. A máxima tensão de entrada desses

reguladores é de 35V sendo a tensão mínima de entrada aproximadamente 3v superior à tensão de saída. A corrente máxima de saída é de 1A.

### 2.3.5. Sensor de Tensão

Um divisor de tensão também conhecido como divisor de resistência é um circuito que tem por objetivo diminuir de maneira proporcional a tensão recebida, ou seja, na entrada do circuito é recebida uma tensão X e na saída é medida uma tensão Y de menor valor e proporcional a tensão X. Um circuito divisor de tensão é composto por dois resistores ligados em série, cujo valor em ohms dessas resistências deve ser dimensionado a fim de se obter a tensão de saída desejada. (MUSEU DAS COMUNICAÇÕES DE MACAU, 2015)

Se a tensão na entrada for representada por VE e os dois resistores tiverem resistências de valores R1 e R2, então a tensão na saída, VS, medida nos terminal de R2 é determina pela equação 2.10:

$$VS = VE * \frac{R2}{R1+R2} \quad \text{Equação 2.9}$$

Quando se é colocado um resistor variável em um circuito divisor de tensão a diferença de potencial a tensão de saída pode variar de forma continua entre zero e a tensão de entrada. Esse tipo e técnica é bastante utilizada em alguns aparelhos eletrônicos para controlar diversas funções como brilho, tonalidade ou volume. (MUSEU DAS COMUNICAÇÕES DE MACAU, 2015)

O projeto utiliza um sensor de tensão, que é circuito divisor de tensão, a fim de simplificar a forma de obter os valores necessários. Entretanto o Arduino somente suporta em suas portas analógicas tensões de no máximo cinco volts, com isso, é necessário modificar um pouco o programa no Arduino e alterar o circuito, de forma que, quando a saída for 5V esta será multiplicada por um valor X que será a real tensão medida.

Para melhor compreensão do circuito utilizado para medir tensão, está disposto a seguir um exemplo de como ocorre o seu funcionamento.

Se o objetivo é medir a tensões de 0 a 24 v, é necessário que se divida o valor máximo, no caso, 24v, por cinco, ou seja, todo valor medido deve se multiplicado por cinco para se obter o valor original. Para que o circuito funcione é necessário escolher um resistor R1 de

valor desejado e o valor de R2 deve ser calculado de forma que a queda proporcional de tensão seja a desejada, para o exemplo acima iremos calcular os resistores.

- O valor escolhido para R1 é 10K ohms

$$V_S = V_E * \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{Equação 2. 10}$$

$$5 * (10K + R_2) = 24 * R_2 \quad \text{Equação 2. 11}$$

$$50k + 5 * R_2 = 24 * R_2 \quad \text{Equação 2. 12}$$

$$50k = 19 * R_2 \quad \text{Equação 2. 13}$$

$$R_2 = \frac{50000}{19} = 2631 \text{ ohms aproximado} \quad \text{Equação 2. 14}$$

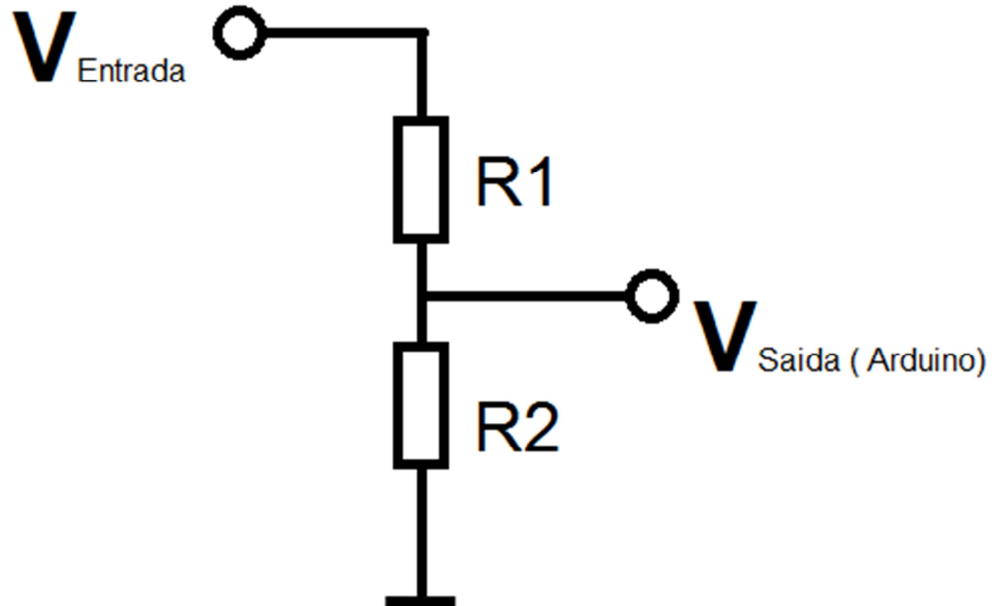


Figura 2. 16- - Divisor de Tensão

### 2.3.6. Sensor de Corrente

Os sensores de corrente têm a função de fornecer uma quantidade de tensão mais adequada às entradas analógicas do microcontrolador arduino que é de cinco volts. Em grande parte dos circuitos eletrônicos não é possível aplicar de forma direta um sinal de tensão aos seus terminais, entretanto os sensores de corrente são necessários para permitir que os valores a serem aplicados sejam compatíveis para esse tipo de aplicação.

Para calcular a corrente gerada pela plataforma piezoelétrica foi construído um sensor de corrente baseada na primeira lei de ohm.

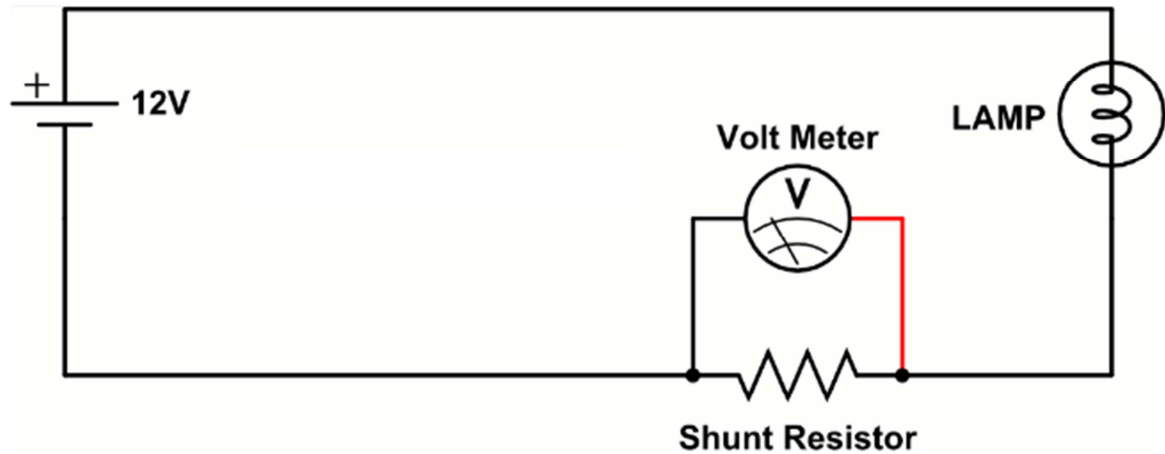
$$U = R * I \quad \text{Equação 2. 6}$$

Tal sensor utiliza um resistor de shunt, que consiste em um resistor de valor relativamente baixo, ligado em serie com a plataforma geradora de energia elétrica. Dessa forma quando a corrente passa pelo resistor shunt acaba gerando uma tensão no mesmo, que é proporcional a corrente fluindo por ele. (SABER ELETRÔNICO, 2013)

Com isso é medida a tensão no resistor de shunt e utilizamos a primeira lei ohm para descobrir o valor da corrente.

Esse cálculo da corrente através da tensão no resistor de shunt é realizado utilizando o micro controlador do Arduíno que tem a função de realizar a conta e imprimir o valor obtido no LCD.

Para melhor compreensão do funcionamento do resistor de shunt a figura 2.17 ilustra uma carga ligada em série com o resistor de shunt e uma lâmpada.



*Figura 2. 17 - Circuito com resistor de shunt*

(Fonte: <http://www.mycontraption.com/measuring-current-without-breaking-your-multimeter/>)

A técnica para realizar a medição da tensão no resistor de shunt é a mesma utilizada para medir a tensão da plataforma, que é a divisão de tensão. Como se trata de uma tensão pequena, os resistores utilizados são de menor resistência quando comparado aos que foram utilizados para medir a tensão gerada pela plataforma.



## CAPITULO 3 - Desenvolvimento

Esse capítulo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento do projeto, o qual tem por função a geração de energia elétrica utilizando a propriedade. Para melhor organização e controle, o processo de produção foi dividido em etapas, dessa maneira facilita a observação dos conceitos apresentados no capítulo 2, unindo parte teórica e parte prática.

### 3.1. Descrição do projeto

A proposta de geração de energia via transdutores piezoelétricos tem como finalidade uma maneira alternativa de fonte energética sendo ela limpa e renovável. Tal energia é gerada através de forças mecânicas aplicadas na superfície da plataforma, que posteriormente é convertida em energia elétrica. O projeto proposto nesse trabalho busca ser uma das muitas energias alternativas que farão parte da solução para a problemática energética mundial vivida atualmente.

A seguir, na figura 3.1 é representado, através do diagrama de bloco do projeto, como está a disposição das etapas no protótipo.

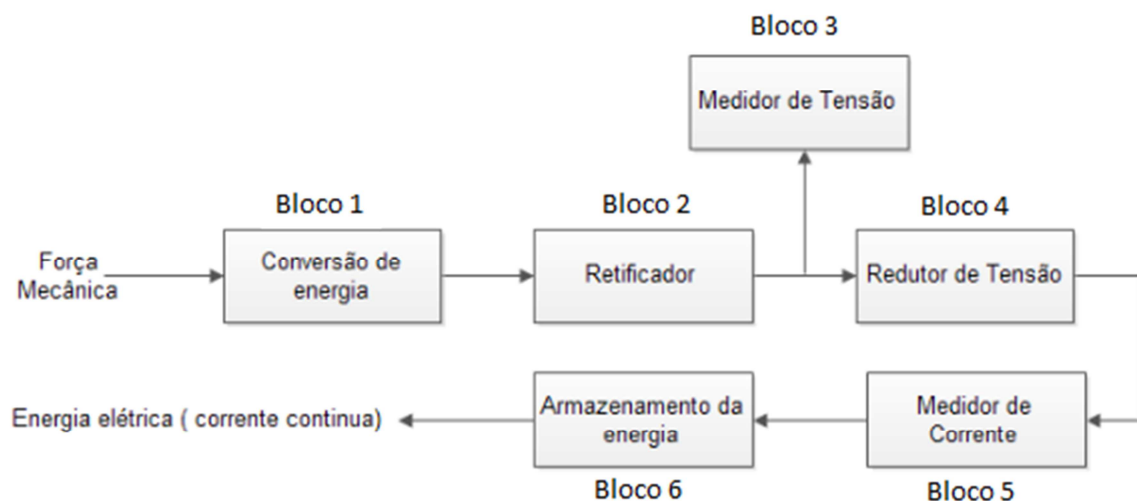


Figura 3. 1- Diagrama de Blocos

Como representado acima, primeiramente é recebido uma tensão mecânica na parte superior da plataforma. No bloco 1 acontece a conversão da energia mecânica em elétrica. No bloco 2 o sinal de corrente é retificado. O bloco 3 é o local onde acontece a quantificação da tensão do sinal gerado no bloco um. O bloco 4 recebe o sinal de tensão com valores elevados e o reduz até o valor desejado. No bloco 5 ocorre a quantificação do sinal de corrente, e a energia medida nesse bloco é repassada ao bloco 6 para o armazenamento e conseqüentemente uma futura utilização aonde for necessário.

A plataforma de geração de energia elétrica está estruturada na proposta de utilização de materiais piezoelétricos. Tal solução tem como objetivo gerar energia limpa e renovável, através da força mecânica das passadas. Esse capítulo demonstra a aplicação dos conceitos teóricos apresentados no referencial teórico, juntamente com o desenvolvimento do projeto e o detalhamento de cada etapa do desenvolvimento.

### **3.2. Conversão de energia**

O bloco conversão de energia representa a transformação da energia mecânica em energia elétrica, através do efeito piezoelétrico. Além disso, ele também engloba o direcionamento dessa energia até o local desejado utilizando fios de cobre.

Para direcionar a força mecânica aplicada pela passada, e utiliza-la para deformar os discos piezoelétricos, foram utilizados dois itens; cubos de esponjas flexíveis e uma placa de madeira quadrada.

Os cubos de esponjas são fixados no centro de cada disco piezoelétrico, e superior a eles, é disposta uma placa de madeira, como é ilustrado na figura 3.2.

A utilização da madeira no protótipo tem como objetivo simular pisos flutuantes que são bastante utilizados em diversos eventos. Poderiam ser utilizados outros materiais como borracha, acrílicos ou outro material desejado, entretanto não é intuito do projeto verificar quais desses materiais tem melhor desempenho para gerar energia elétrica via piezeletricidade.

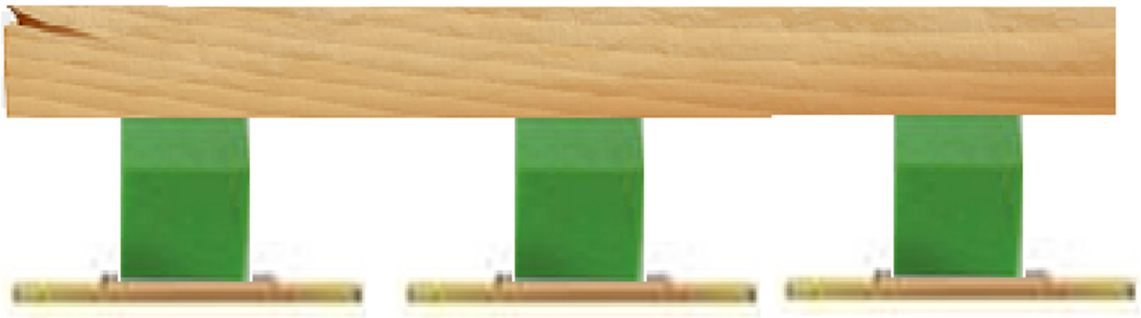


Figura 3. 2 - Disposição dos componentes da plataforma.

Quando a madeira da parte superior é submetida a uma tensão mecânica, tal força é direcionada aos cubos de esponja, que por sua vez pressionam os discos piezoelétricos causando uma leve deformação elástica nos transdutores, fazendo com que os mesmos gerem uma certa quantidade de energia elétrica.

Quanto maior a deformação, maior é a quantidade de energia gerada pelo transdutor piezoelétrico. Como ele está localizado em uma placa de madeira que não permite tanta mobilidade optou-se por fazer pequenos buracos circulares nos locais onde os discos foram fixados. Permitindo assim uma melhor deformação como ilustrado na figura 3.3.

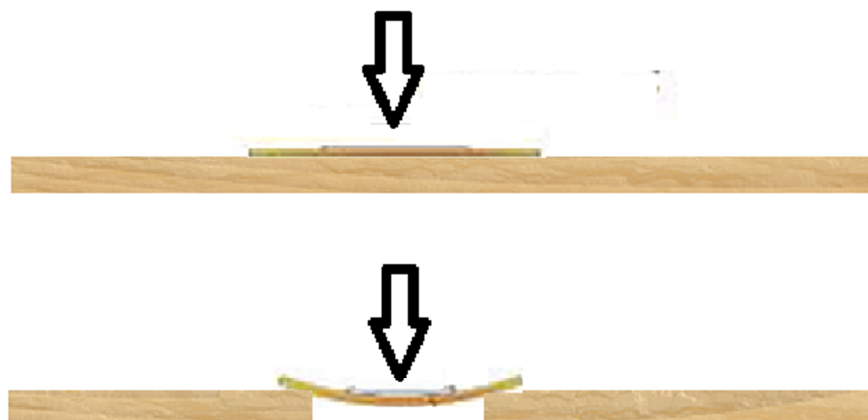


Figura 3. 3 - Deformação do disco Piezoelétrico

É importante que o diâmetro desses buracos não ultrapassem 25 milímetros para os discos de 35 milímetros, pois como observado em experimentos anteriores, a partir dessa medida, a deformação do disco deixa de ser elástica, se tornando inelástica, danificando assim os transdutores geradores de energia.

Seguindo essa lógica se utilizou 30 discos piezoelétricos de 35 milímetros de diâmetro, juntamente com buracos de 20 milímetros para termos uma maior margem de segurança com relação à integridade do material piezoelétrico. Dessa maneira faz com que os transdutores se deformem com maior intensidade, gerando maior quantidade de energia sem que aconteça a danificação do disco piezoelétrico.

Os discos foram fixados na madeira utilizando cola quente e posteriormente soldados uns aos outros a fim de conduzir toda energia gerada ao local desejado.

Inicialmente havia uma dúvida de como seria feito a ligação dos discos piezoelétricos, em série ou paralelo. A associação em série é efetuada ligando o polo positivo de um disco ao polo negativo do outro, como é representado na figura 3.4.

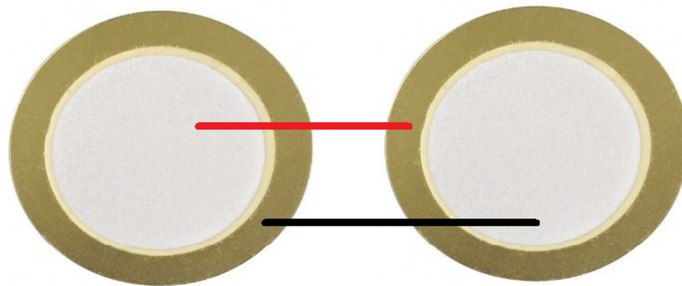


Figura 3. 4 - Ligação Discos Piezoelétricos em Série

Com esse tipo de ligação existe a soma das diferenças de potenciais de todos os transdutores presentes no circuito obtendo assim uma tensão equivalente mais alta.

A figura 3.5 representa a ligação de seis fontes de 1,5 V ligadas em série, somando assim suas tensões.

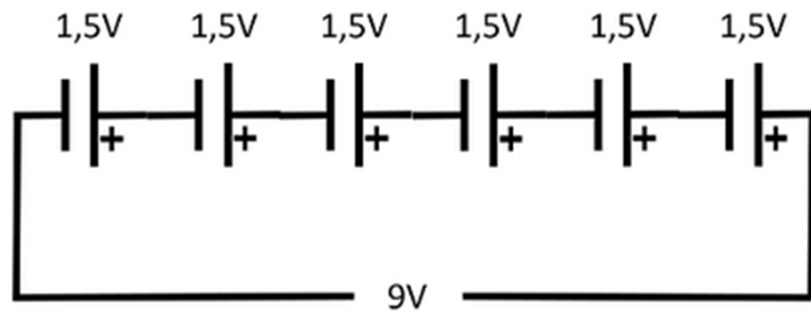
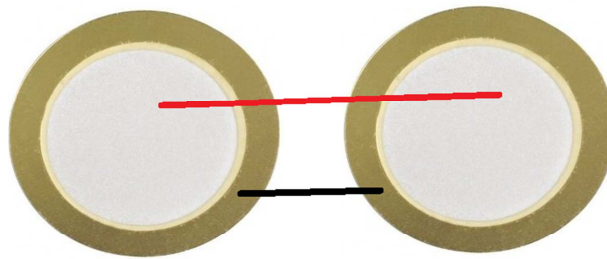


Figura 3. 5- Fontes Ligados em série

Já a associação em paralelo é realizada ligando o polo negativo de um transdutor piezoelétrico ao polo negativo do outro transdutor, o mesmo deve ser feito como os polos positivos. Tal forma é ilustrada na figura 3.6.



Utilizando a ligação das fontes em paralelo acontece a soma das correntes geradas pelos discos enquanto se mantem a tensão.

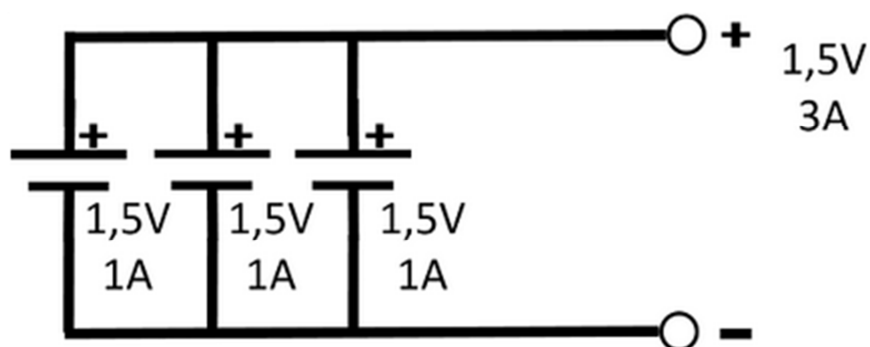


Figura 3. 6 – Fontes Ligadas em Paralelo

Para a construção da plataforma, a melhor opção a ser utilizada é a ligação em paralelo dos discos piezoelétricos, pois o objetivo do protótipo é carregar uma bateria, fazendo com que a corrente seja prioridade no projeto.

Outro importante motivo pela escolha da ligação em paralelo se dá pelo fato de que a corrente produzida pelos transdutores é alternada, e como a pressão não é feita no mesmo

momento e nem na mesma intensidade em todos os discos piezoelétricos, tais sinais de corrente são produzidos de maneira diferente, e dessa forma um sinal pode cancelar o outro, fazendo com que haja uma perda de energia. Para um melhor entendimento, segue a figura 3.7 que representa esse evento.

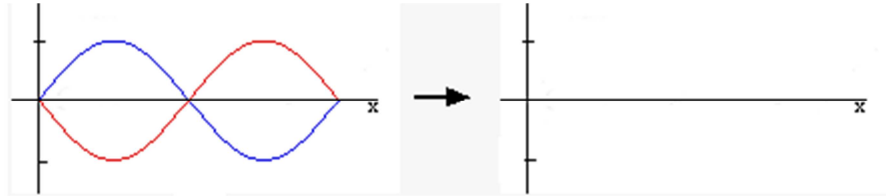


Figura 3. 7- Anulação dos sinais de corrente

A ligação em paralelo dos discos foi feita com fios de cobre de dois milímetros que suporta cerca de 500 milliampéres e 40 volts sendo que toda energia gerada é direcionada a ao retificador.

Abaixo segue a figura 3.8 que mostra os discos piezoelétricos colados na plataforma de madeira e soldados paralelamente.

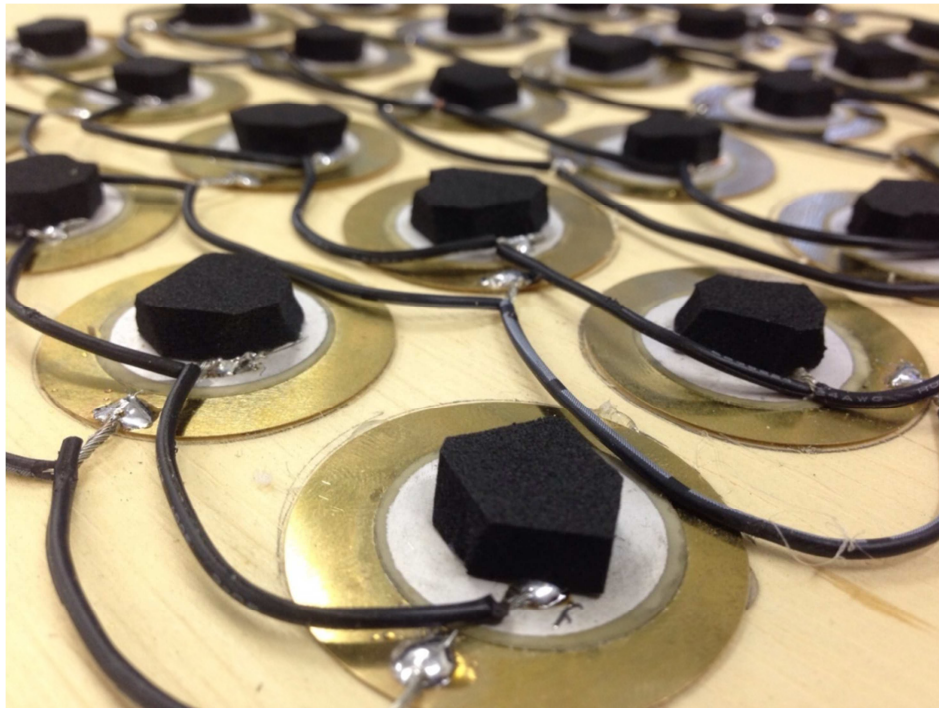


Figura 3. 8 - Discos Piezoelétricos

Como explicado anteriormente foram feitos buracos circulares nos locais onde os discos piezoelétricos foram fixados, como mostra a figura 3.9.

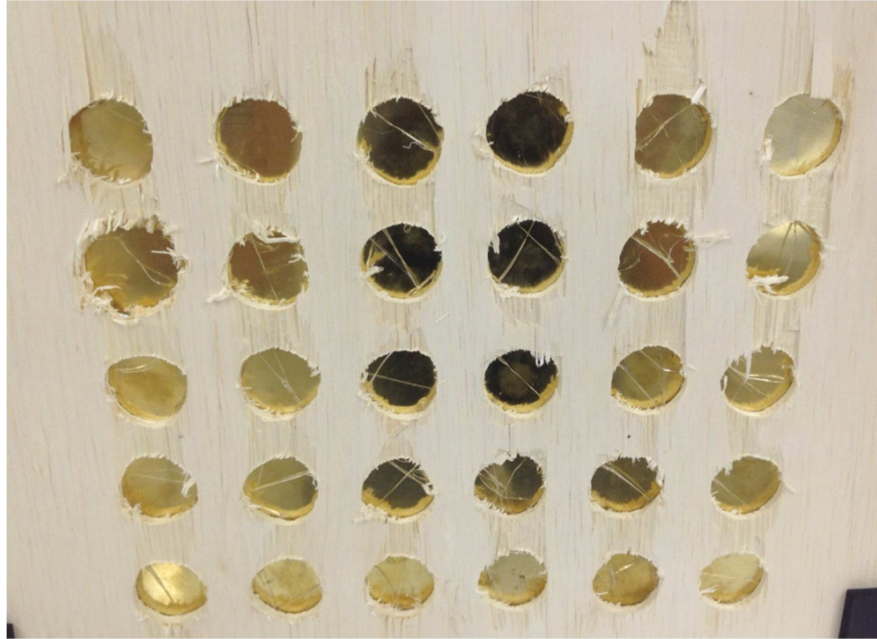


Figura 3. 9 - Parte inferior da plataforma

### 3.3. Retificador e Redutor de Tensão

O bloco retificador representa a ponte de diodos, que tem como objetivo transformar corrente alternada em corrente contínua. Esse fenômeno é possível graças à propriedade elétrica dos diodos retificadores que somente permitem a passagem de corrente em um único sentido.

Ao se construir uma ponte retificadora de onda completa, os diodos ficam dispostos de maneira que é possível manter a polaridade da saída mesmo com a variação do polo positivo na entrada do circuito.

Para construir esse retificador foram utilizados quatro diodos retificadores 1N4007, dispostos como na imagem 3.10.

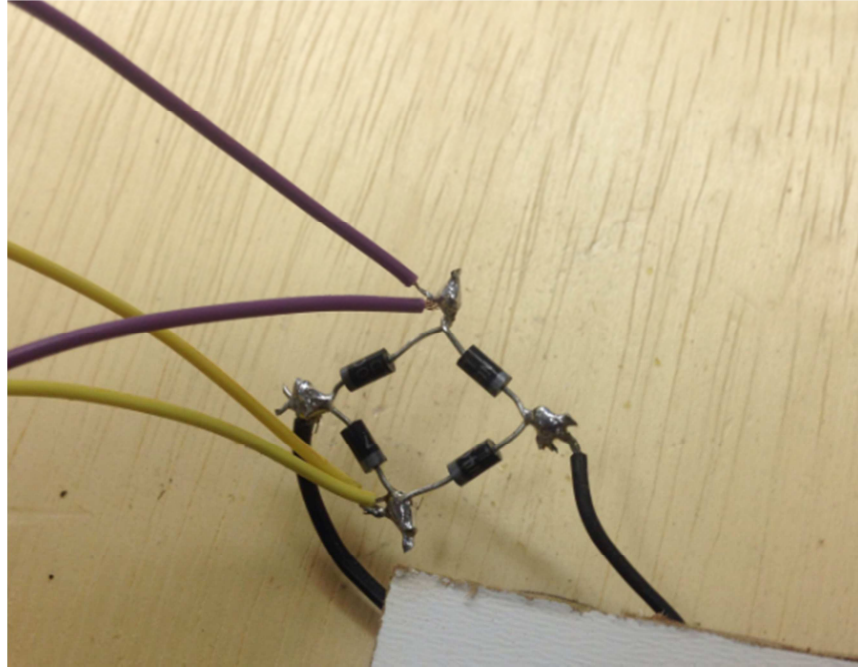


Figura 3. 10- Ponte retificadora

Para melhor compreensão do funcionamento do retificador a figura 3.11 ilustra o funcionamento de uma ponte retificadora de onda completa.

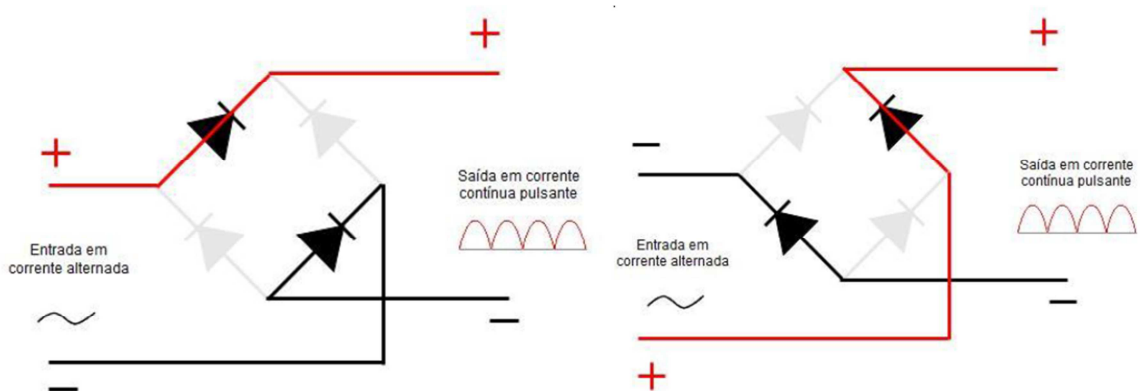


Figura 3. 11 - Funcionamento da Ponte Retificadora

(Fonte: Dantas, 2014)



O sinal de corrente gerado pela plataforma é pulsante, pois varia de acordo com o momento da pressão mecânica aplicada na superfície dos transdutores, dessa forma optou-se por adicionar um capacitor de 200nf na saída da ponte retificadora.

Esse capacitor tem como objetivo tornar o sinal de saída mais estável de forma que a corrente gerada fique o máximo possível no pico do sinal pulsante. Para melhor compreensão, a figura 3.12 ilustra o funcionamento do capacitor na saída da ponte retificadora.

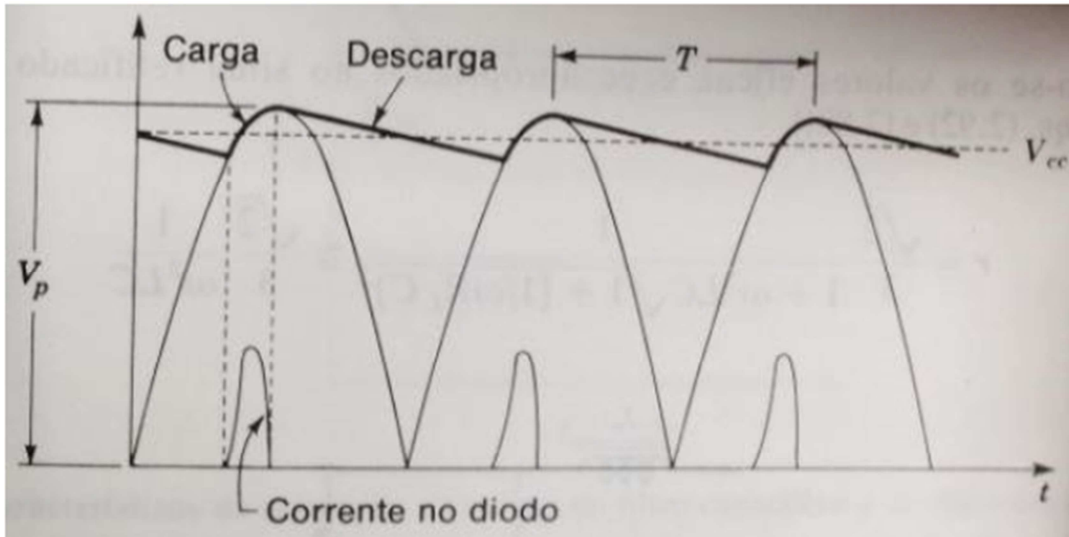


Figura 3. 12 - Função do Capacitor

(Fonte: Eletrônica Básica, 3ª edição).

Os discos piezoelétricos geram voltagens acima dos cinco volts suportados pelo Power Bank, dessa forma foi necessário adicionar um redutor de tensão na saída do circuito afim de não danificar a bateria, aumentando assim a sua vida útil.

Para isso, foi utilizado um regulador de tensão 7805, onde a tensão de saída máxima é de exatamente cinco volts.

A figura 3.13 mostra a disposição do regulador de tensão no projeto.

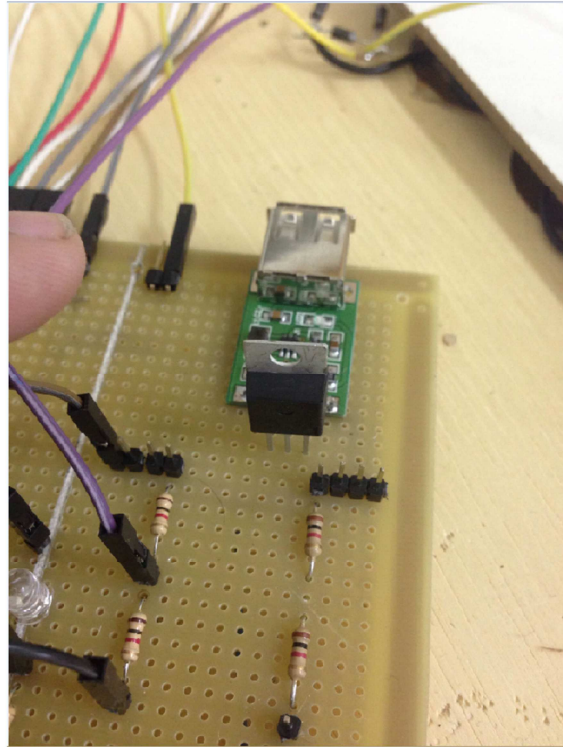


Figura 3. 13 - Regulador de Tensão

### 3.4. Armazenamento de Energia

A função principal desse projeto é gerar energia elétrica através do andar das pessoas e utilizar essa energia para recarregar um celular ou qualquer dispositivo móvel de até 5V. Entretanto, se a energia gerada pelos transdutores piezoelétricos não for utilizada no momento em que ela for gerada ela acaba se perdendo. Para que essa energia seja utilizada posteriormente, é necessário que ela seja armazenada em unidade de armazenamento. Para isso foi utilizada uma bateria igual a que é ilustrada na figura 3.14.



Figura 3. 14 - Power Bank

Fonte: <http://www.etacoleta.com.br/power-bank-universal-2600-preto-pr-520-351216.htm>

A capacidade do Power Bank utilizado no protótipo é de 2600 mAh sendo suas entradas e saídas de 5V e 1 A. Com isso é possível carregar completamente grande parte dos celulares existentes no mercado hoje, e também alguns tablets de menor capacidade energética.

### **3.5. Sensor de tensão**

Como explicado no capítulo dois, é utilizado um divisor de tensão como sensor onde a tensão de entrada é a tensão gerada pela plataforma e a tensão de saída é menor, mas proporcional à tensão de entrada. A saída do divisor de tensão é ligada na porta analógica do arduino. A figura 3.15 ilustra como está disposto o divisor de tensão, o Arduino e a plataforma piezoelétrica.

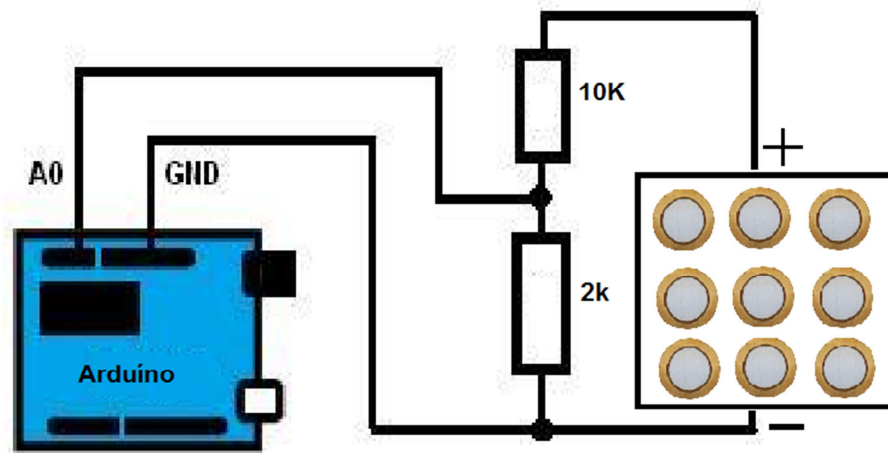


Figura 3. 15 - Divisor de Tensão e Arduino

A tensão máxima suportada pelo Arduino é de cinco volts, ou seja, quando a tensão for a máxima possível gerada pela plataforma, a tensão de saída do divisor de tensão obrigatoriamente tem que ser cinco volts.

Como tensão máxima de entrada utilizaremos 30V, com isso a tensão de saída é seis vezes menor do que a tensão de entrada, dessa forma, para sabermos a tensão gerada pela plataforma, temos que pegar a diferença de potencial na porta analógica do Arduino e multiplicar por seis.

Entretanto o Arduino utiliza 10 bits para fazer a medição o que nos dá 1023 pontos de medição, ou seja, quando a tensão for cinco volts o valor coletado pelo micro controlador é 1023. Para imprimir o valor em volts temos que realizar uma pequena regra de três, onde 1023 está para cinco volts e o valor coletado na porta está para X, posteriormente multiplica-se o valor de X por seis, encontrando assim o valor da tensão gerada pela plataforma.

Abaixo segue parte da programação utilizada no Arduino para ler a tensão recebida pela porta analógica e fazer a manipulação necessária dessa diferença de potencial para que a saída seja a tensão gerada pela plataforma.

```
valor = analogRead(A0); // Lê as informações da porta A0 e salva na variável
valor.
```

```
volt = (30*valor)/1023; // Transforma o valor da tensão medida e transforma no valor real
gerado pela plataforma , utilizando a regra de três.
```

A figura 3.16 mostra destaca no quadro vermelho como está disposto no projeto o sensor de tensão.



Figura 3. 16 - Divisor de Tensão no projeto

Como pode ser observado na figura 3.16 foram utilizados dois resistores 1k em série ao invés de um resistor de 2k devido a esse valor não ser muito comercial.

### 3.6. Sensor de corrente

Para realizar a medição da corrente gerada pela plataforma energética foi utilizado um resistor de shunt, cujo seu funcionamento foi explicado no capítulo dois.

A medição da tensão no resistor de shunt é feita utilizando um divisor de tensão, parecido com o sensor de tensão usado para medir a diferença de potencial da plataforma. Como a tensão do resistor de shunt é significativamente menor do que a medida na plataforma é necessário à utilização de resistores de valores menores.

A forma de calcular os valores dos resistores do divisor de tensão já foi mostrado no capítulo dois, e utilizando essa técnica, os valores ideais para medir a tensão no resistor de shunt são dois resistores de um ohm cada um.

A figura a 3.17 ilustra o divisor de tensão utilizado para se conseguir o valor da corrente.

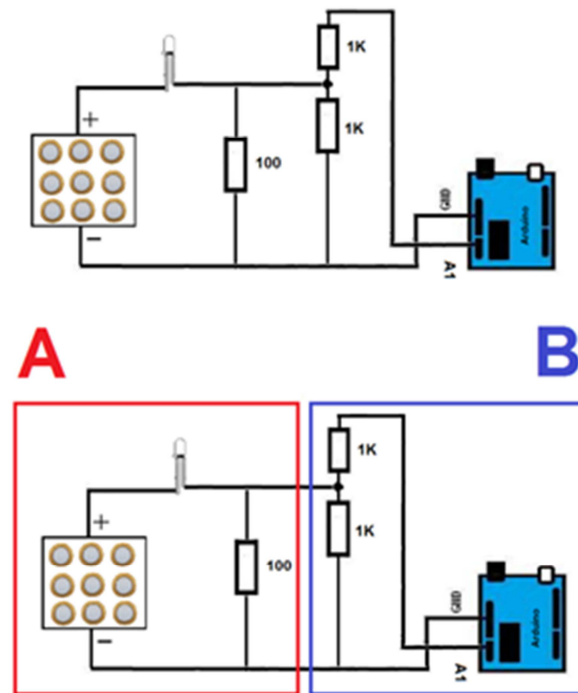


Figura 3. 17 - Sensor de corrente via divisor de tensão

Para melhor compreensão do circuito a figura é dividida em duas, parte A e parte B. A parte A representa a plataforma geradora de energia elétrica ligada em série com o resistor de shunt de 100 ohms e uma carga representada por um led. A parte B representa o sensor de tensão ligado em paralelo com a resistência de shunt a fim de medir a tensão no resistor e utilizando a primeira lei de ohm, descobrir a corrente gerada pela plataforma.

Para medir a corrente o Arduino recebe na porta A1 o valor medido no divisor de tensão, converte esse valor para volts e posteriormente realiza os cálculos da primeira lei de ohm, para assim se obter o valor desejado. Abaixo segue parte da linguagem de programação utilizada no Arduino para viabilizar esse processo.

```
valorc = analogRead(A1); // Lê as informações da porta A1 e salva na variável
valorc.
```

`voltc = (5 * valorc)/1023; // Transforma o valor medido na porta A1 de pontos de medição para volts`

`Corrente = (voltc/100) // Aplicação do  $U=R*I$  para descobrir a corrente.`

Abaixo segue a imagem 3.18 que mostra o sensor de corrente utilizando divisor de tensão no projeto em destaque no quadrado vermelho e o Resistor de shunt em destaque no quadro azul.

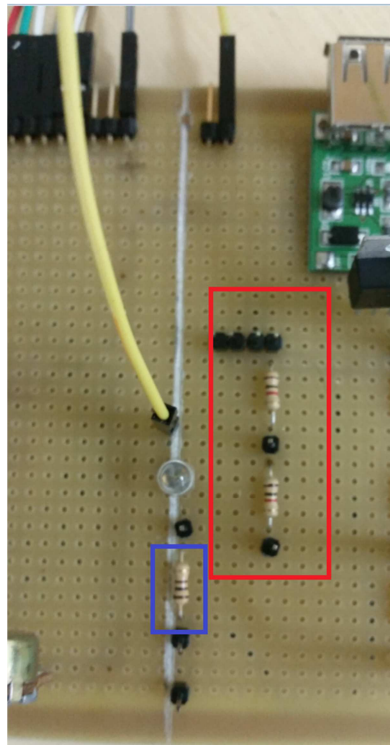


Figura 3. 18 - Sensor de corrente

## **CAPITULO 4 - Testes e Resultados Alcançados**

Nesse capítulo são abordado os testes e resultados obtidos de acordo com o desenvolvimento do projeto. Afim de um melhor detalhamento dos resultados obtidos, esse capítulo será dividido em três cenários.

- a) Cenário um: Resultados de Geração de energia;
- b) Cenário dois: Resultado para tempo de carga completa de Power Bank;
- c) Cenário três: Resultados da Retificação do sinal;

Posteriormente a apresentação dos cenários é apresentado uma estimativa do custo do protótipo construído.

### **4.1 Cenário um**

Em um sistema de geração de energia com materiais piezoelétricos, a força aplicada para deformar o piezo-transdutor e causar o desequilíbrio de prótons e elétrons é fundamental para gerar eletricidade. Quanto maior a intensidade da tensão mecânica aplicada sob o transdutor, maior e a deformação no disco e conseqüentemente mais energia é gerada.

Para confirmar essa afirmação, foram realizados testes para mostrar a correlação entre a tensão mecânica aplicada e a quantidade de energia gerada. Para realizar esses testes foram utilizados pesos de ferro e um teste final com uma passada verdadeira.

A passada utilizada tem uma pressão de 92 kg, que foi quantificada com o auxílio de uma balança.

Na tabela 4.1 é mostrado o comparativo entre a pressão em quilogramas, a tensão em volts e a corrente em ampères gerada naquele instante. A fim de se obter um melhor detalhamento e mostrar com mais precisão a proporcionalidade direta. Foram realizadas 11 medições com diferentes pressões.



Tabela 4. 1- Energia Gerada

Pressão (KG)	Tensão (Volts)	Corrente (Mileampéres)	Potência (watts)
4	3,63	12	0,04356
6	3,91	17	0,06647
8	4,0	20	0,08
10	4,31	23	0,09913
12	4,66	35	0,1631
15	4,96	42	0,20832
20	5,35	67	0,35845
22	5,57	80	0,4456
25	6,0	91	0,546
50	6,4	169	1,0816
92	6,82	223	1,52086

Para uma melhor análise dos dados apresentados na tabela acima foram construídos dois gráficos com os dados coletados. O primeiro gráfico faz um comparativo entre a tensão e a corrente gerada e o segundo gráfico faz um comparativo entre a pressão exercida na plataforma e a potência gerada pelos discos piezoelétricos.

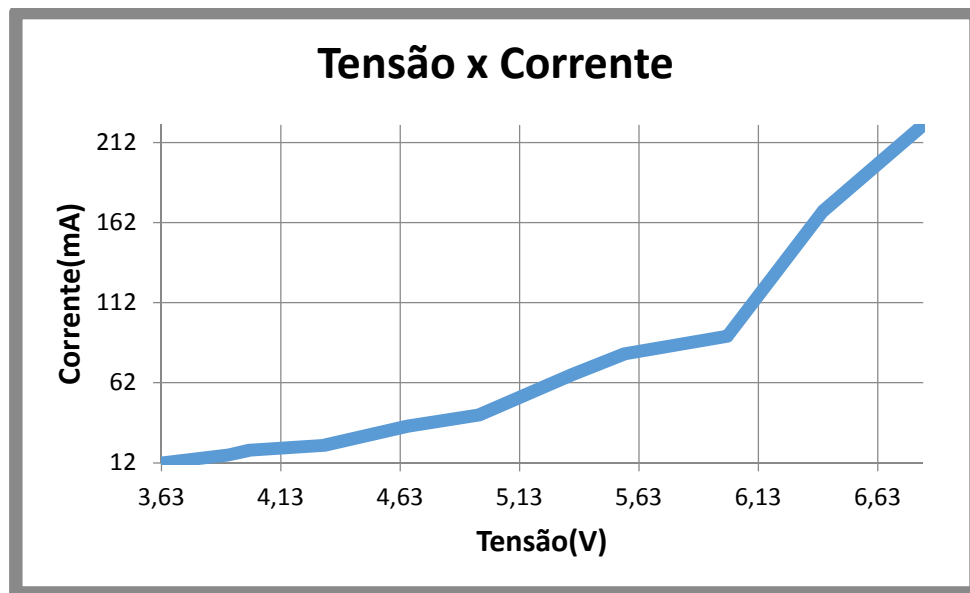


Figura 4. 1- Tensão X Corrente

Podemos observar que inicialmente a tensão aumenta quase que proporcionalmente a corrente, a partir do momento em que a diferença de potencial se aproxima de seis volts é possível observar uma maior dificuldade no aumento da tensão quando comparado ao início do gráfico. Apesar do comportamento da tensão se alterar, a corrente continua aumentando de

maneira proporcional de acordo com a pressão mecânica exercida na superfície dos discos piezoelétricos.

Para mostrar os resultados de maneira mais clara e provar que a quantidade de energia elétrica gerada pela plataforma é proporcional a intensidade da força mecânica aplicada nos discos piezoelétricos é feito um comparativo entre a pressão aplicada e a potência gerada.

Na figura 4.2 é possível observar o comportamento da potência com relação ao aumento gradativo da pressão mecânica exercida na plataforma.

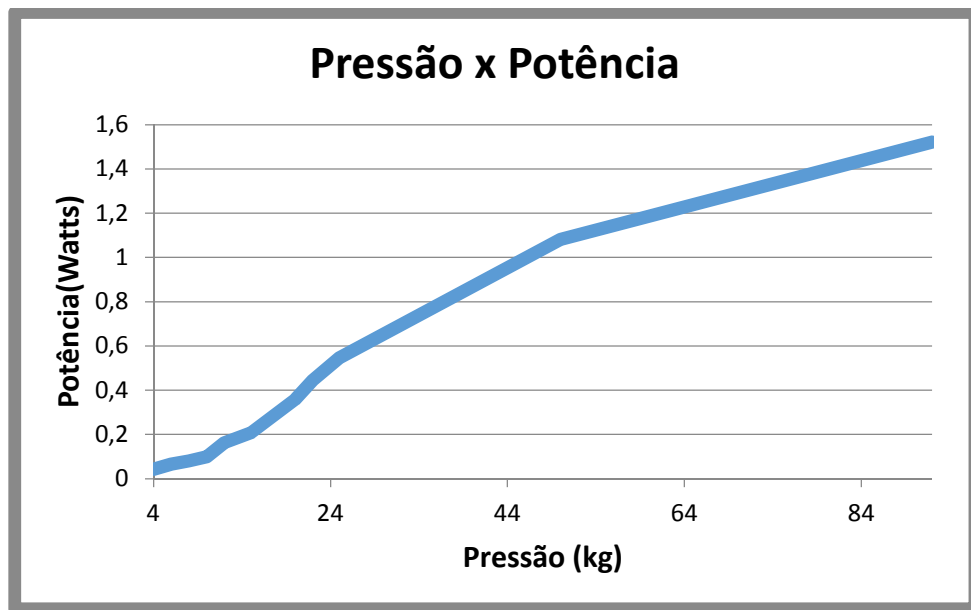


Figura 4. 2 - Potência X Pressão

Analisando a figura 4.2 é possível observar que à medida que a pressão aumenta, a potência gerada pela plataforma também aumenta de maneira quase proporcional apenas com algumas variações.

Isso acontece devido ao fato de quanto maior a pressão exercida, maior é a deformação nos discos piezoelétricos e com isso, mais potência é gerada.

Os resultados apresentados nesse cenário de testes foram obtidos através de um protótipo em pequena escala, com apenas 30 discos piezoelétricos, a ideia desse projeto é a implementação em larga escala, em locais de grande circulação de pessoas como shoppings, shows e academias.

Tendo como base os resultados obtidos nos testes podemos fazer uma projeção do quanto de energia poderia ser gerado em um projeto 56 vezes maior, utilizando 1680 discos piezoelétricos.

Para essa projeção será utilizada a pressão de uma passada de 92 kg, como os discos estão ligados apenas em paralelo a tensão gerada por 1680 transdutores piezoelétricos é a mesma gerada por 30 transdutores. Entretanto existe um ganho de corrente considerável já que ocorre o somatório das correntes.

Se com 30 discos submetidos a uma pressão de 92 kg foram gerados 223 miliampères em um projeto 56 vezes maior sob a mesma pressão seriam gerados 12,488 Ampères e aproximadamente 85,17 watts de potência.

Para melhor visualização da capacidade do projeto proposto em larga escala, o gráfico 4.3 mostra diferentes projeções entre o numero de discos piezoelétricos e a potência gerada por eles. Lembrando que tal projeção é baseada nos resultados obtidos para uma pressão de 92 kg.

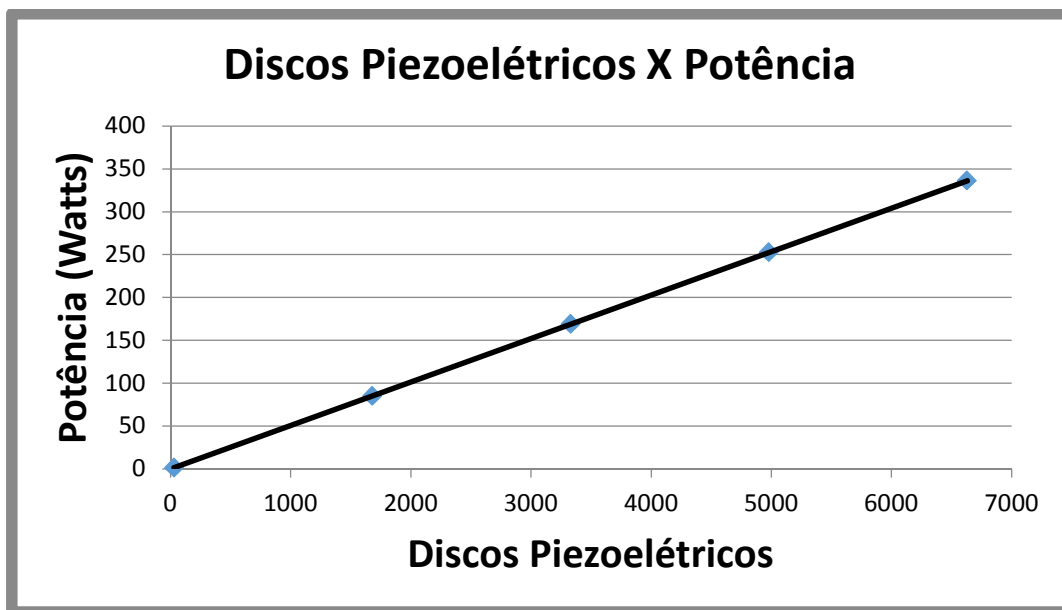


Figura 4. 3 - Potência dos discos Piezoelétricos

Analisando o gráfico acima é possível observar que se o projeto for utilizado em larga escala, pode atingir potências suficientes para alimentar, por exemplo, uma tv de Led que tem potência média de 127 watts e mais 44 lâmpadas de led de cinco watts de potência. Dessa forma não seriam necessário utilizar a energia fornecida pelas concessionárias para diversas tarefas, o que geraria uma grande economia de energia.

## 4.2 Cenário dois

Nesse cenário é verificado o tempo necessário para carregar 100 por cento do Power Bank, pois para a viabilidade do projeto o carregamento do Power Bank tem que ser realizado em um tempo aceitável.

O tempo para carregar completamente o Power Bank utilizado no projeto varia de acordo com o número de pressões captadas em um determinado intervalo de tempo e da intensidade de cada pressão, ou seja, em locais onde existe grande circulação de pessoas a bateria será carregada de maneira mais rápida.

Para a realização desse teste simularemos um ambiente ideal onde existe um grande volume de pessoas circulando e a plataforma consiga captar a energia mecânica das passadas com um intervalo de tempo ínfimo.

Para não haver necessidade de permanecer pisando durante algumas horas até a carga total do Power Bank é utilizada a proporcionalidade para estimar o tempo da recarga.

Para viabilizar esse teste, é cronometrado o tempo necessário para carregar dois por cento desse Power Bank e depois multiplicado por 50, o que equivale ao tempo para carregar 100 por cento da bateria.

Nesse teste foi utilizada uma passada cuja pressão média é de 92 kg com isso tivemos valores médios de tensão e corrente de 6.81 volts e 223 milieampéres.

Dessa forma foram necessários 4 minutos e 54 segundos para carregar dois por cento da carga total, com isso temos uma estimativa de carga completa em aproximadamente 4 horas e 5 minutos.

### 4.3 Cenário três

Para realizar o armazenamento da energia no Power Bank é necessário que a corrente na sua entrada seja contínua, e como explicado nos capítulos anteriores, essa função é exercida pela ponte retificadora de diodos.

Com isso, nesse cenário é verificado, utilizando o auxílio do osciloscópio se a ponte retificadora está convertendo o sinal da maneira desejada.

A figura 4.4 mostra o resultado da tela do osciloscópio antes da retificação do sinal, ou seja, o sinal original gerado pelos discos piezoelétricos.

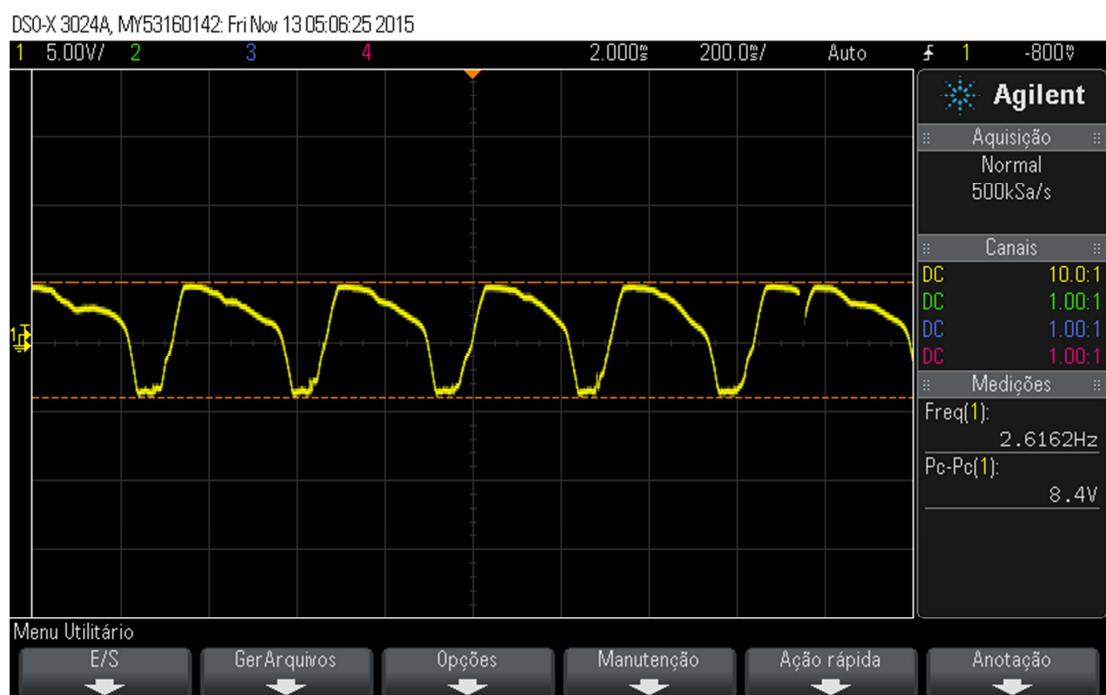


Figura 4. 4 - Sinal AC

Na figura 4.4 podemos observar que o sinal possui os dois polos, positivo e negativo. Esse é o sinal original produzido pelos discos piezoelétricos, dessa forma não seria possível armazenar tal energia, uma vez que esse tipo de sinal é alternado e o Power Bank só é capaz de fazer o armazenamento de corrente contínua.

Entretanto, antes de seguir para o Power Bank, esse sinal é retificado através de uma ponte de diodos. Na figura 4.5 é possível observar o sinal de saída do retificador utilizado.

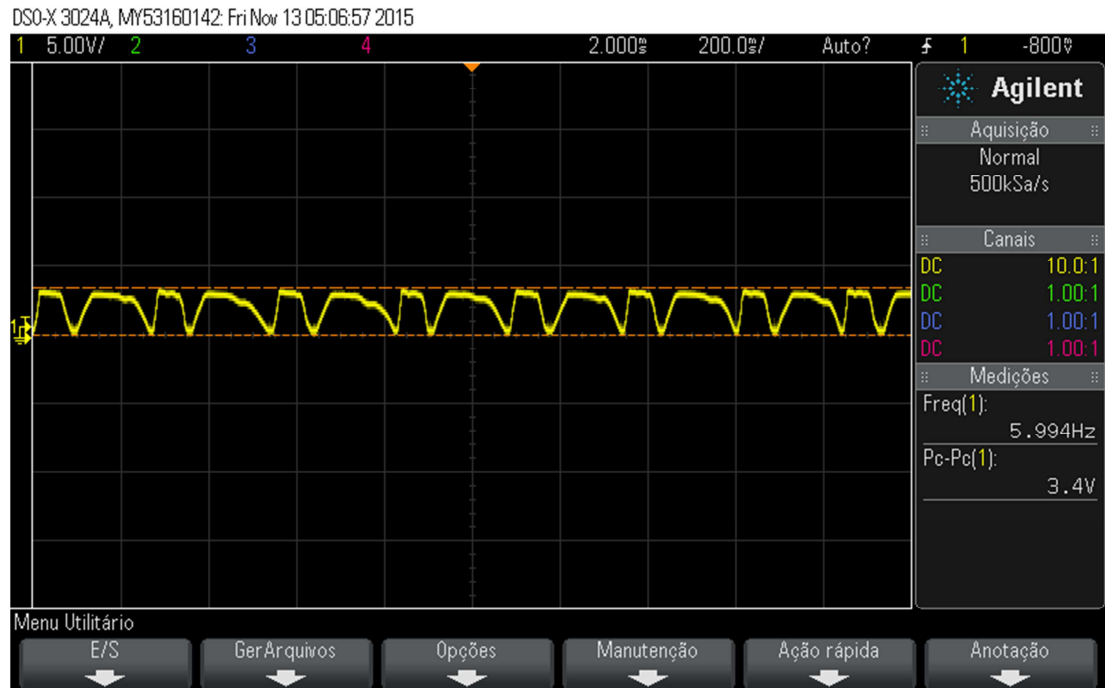


Figura 4. 5 - Sinal DC

Observando o sinal de saída da ponte retificadora que é ilustrado através da figura 4.5 podemos concluir que a ponte de diodos cumpre o seu papel, pois converte o sinal alternado em um sinal contínuo pulsante.

Outro ponto que pode ser observado para comprovar o sucesso da ponte retificadora de diodos é o aumento da frequência do sinal quando comparado com o sinal original gerado pelos transdutores, pois como o sinal é retificado a parte negativa do gráfico é espelhada para a parte positiva do gráfico aumentando assim a frequência do sinal.

#### 4.4 Estimativa de custo do Projeto

Tabela 4. 2 - Custo do Projeto

Componente	Preço (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Transdutor Piezoelétrico 35 mm	1,00	30	30,00
Diodo 1N4007	0,10	4	0,40
Power Bank	15,00	1	15,00
Regulador de tensão LM7805	3,00	1	3,00
Arduino UNO	60,00	1	60,00
Madeira	25,00	1	25,00
<b>Total</b>			<b>133,4</b>

## **CAPITULO 5 – Considerações Finais**

Nesse capítulo são tratados as considerações finais a respeito do protótipo desenvolvido por esse projeto, bem como apresentar algumas propostas de trabalhos futuros no mesmo segmento desse projeto.

### **5.1 Conclusões**

O projeto em questão teve como objetivo principal a geração de energia elétrica utilizando a tensão mecânica das passadas como fonte. A energia gerada deveria ser armazenada em um Power Bank para que tal energia pudesse posteriormente ser utilizada para carregar qualquer dispositivo 5v .

Além do objetivo geral, ainda existem alguns objetivos específicos que também deveriam ser alcançados para que o projeto obtivesse sucesso. São eles: a elaboração de dois sensores, cuja as finalidades são medir a tensão e corrente geradas pela plataforma, e a conversão do sinal AC em DC através de uma ponte de diodos.

Tendo como base os resultados obtidos nos testes realizados, conclui-se que o objetivo foi alcançado, uma vez que a plataforma piezoelétrica foi capaz de gerar a potência necessária para carregar o Power Bank, sendo que a quantidade de corrente produzida foi bem superior ao esperado no início do projeto.

A potência mínima foi obtida com a pressão de 4kg, que apresentou de 0,042 watts e a potência máxima utilizando uma pressão de 92kg foi 1,52watts.

Os objetivos específicos também foram alcançados já que os sensores funcionaram como esperado, mostrando os valores de tensão e corrente gerados a cada passada captada pela plataforma. Dessa forma o usuário pode ter uma noção de quanto está sendo gerado de energia em um determinado ambiente e traçar uma estimativa de quanto de energia pode ser obtida em um intervalo de tempo.

A ponte de diodos retificadores funcionou como esperado, convertendo o sinal AC em DC como pode ser observado no teste feito no cenário três, e dessa forma tornou possível o armazenamento de energia.

Com relação à metodologia utilizada, ela foi de grande importância no desenvolvimento da parte prática do projeto, ajudando na organização do projeto fazendo com que muitos problemas fossem evitados.

Com isso pode se concluir que todos os objetivos traçados no início do projeto foram atingidos. O modelo de geração de energia proposto nesse projeto pode ser utilizado como uma fonte alternativa de energia, pois ela é limpa e renovável. Caso este projeto seja aplicado em grandes escalas pode se gerar energia suficiente para a realização de tarefas bem maiores do que carregar um celular, como iluminação de ambientes onde existiam grande circulação de pessoas, fazendo com que houvesse grande economia com relação à energia.

## **5.2 Propostas de trabalhos futuros**

Apesar do protótipo se comportar da maneira como era esperado no início do projeto, ainda podem ser feito alguns aprimoramentos para melhorar o seu desempenho, a fim de utilizar a energia piezoelétrica para alimentar cargas que necessitam de tensões e correntes maiores.

Uma sugestão para trabalho futuro é aumentar o numero de discos piezoelétricos, utilizando ligações em série e em paralelo, pois dessa forma aumentaria a potência gerada pela plataforma, uma vez que haveria a soma de corrente e tensão dos discos piezoelétricos. Uma aplicação para isso seria alimentar o próprio Arduino com a energia da plataforma, dessa maneira o projeto ficaria totalmente independente de energia elétrica externa.

Outra sugestão para trabalhos futuros seria um estudo de qual o melhor material para a montagem da plataforma, como por exemplo, madeira, acrílico ou borracha levando em consideração a quantidade de energia gerada pela plataforma com cada um desses materiais.

Uma terceira sugestão seria o estudo da resistividade do disco piezoelétrico a fim de verificar o máximo de pressão suportada por um transdutor, e dessa maneira descobrir o máximo de corrente e tensão que ele consegue gerar sem se romper.



## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA ESTADO. ONU: População mundial é de 7,2 milhões de pessoas. **Estadão**, 2013. Disponível em: <<http://internacional.estadao.com.br/noticias/geral,onu-populacao-mundial-e-de-7-2-bilhoes-de-pessoas,1042156>>. Acesso em: 21 Março 2015.
- ARRABAÇA, D. A.; GIMENEZ, S. P. Eletrônica de Potência - Conversores CA/CC teoria, prática e simulação. 1a. ed. São Paulo: Erica, 2014. Cap. 1.
- CAMPOS, F. G. R. D. **GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTE EÓLICA COM GERADOR ASSÍNCRONO CONECTADO A CONVERSOR ESTÁTICO DUPLO**. CAMPOS, F. G. R. D. GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTE EÓLICA COM GERADOR ASSÍNCRONO Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.
- FILHO, J. G. M. Crise energética brasileira. **Diário do Comércio**, 2014. Disponível em: <<http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?id=134830>>. Acesso em: 18 Março 2015.
- FRAGMAQ. Entenda os problemas da crise energética no mundo. **Fragmaq**, 16 Maio 2013. Disponível em: <<http://www.fragmaq.com.br/blog/entenda-os-problemas-da-crise-energetica-no-mundo/>>. Acesso em: 17 Março 2015.
- GELLER, H. S. **Revolução Energética**: Políticas para um futuro sustentável. 1a. ed. São Paulo: [s.n.], 2002.
- GEOVANNAL, C. Piezoeletrecidade, 2010. Disponível em: <[www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem1\\_2007/GeovannaL\\_Cotta\\_RF1.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2007/GeovannaL_Cotta_RF1.pdf)>. Acesso em: 5 Maio 2015.
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. Energia e Meio ambiente. 4a. ed. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2011. Cap. 11, p. 308-330.
- IEO. Internacional Energy Outlook. **Internacional Energy Agency**, 2010. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo-2010.html>>. Acesso em: 1 Abril 2015.
- MALVINO, A.; BATES, D. Eletrônica. 7a. ed. [S.l.]: AMGH Ltda., v. I, 2007. Cap. 4, p. 90-99.
- MARGOLIS, M. Seca no Brasil é sinônimo de falta de água e de energia: Mac Margolis. **uol**, 2015. Disponível em: <<http://economia.uol.com.br/noticias/bloomberg/2015/02/05/seca-no-brasil-e-sinonimo-de-falta-de-agua-e-de-energia-mac-margolis.htm>>. Acesso em: 23 Abril 2015.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese2014.aspx>>. Acesso em: 2 Maio 2015.
- MUSEU DAS COMUNICAÇÕES DE MACAU. Divisor de Tensão. **Museu Das Comunicações**, 2015. Disponível em: <[http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/moreinfo/2\\_3\\_3\\_VoltageDivider.html](http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/moreinfo/2_3_3_VoltageDivider.html)>. Acesso em: 15 Maio 2015.
- PEREIRA, A. H. A. **Cerâmicas piezoelétricas : funcionamento e propriedades**. ATCP Engenhari Física. São Carlos, p. 7. 2010.

PESQUISA. Biomassa. **Sua Pesquisa**, 2010. Disponível em:

<<http://www.suapesquisa.com/pesquisa/biomassa.htm>>. Acesso em: 20 Abril 2015.

PORTAL BRASIL. Portal Brasil. **Portal Brasil**, 2011. Disponível em:

<<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/fontes-hidraulicas-geram-a-maior-parte-da-energia-eletrica>>. Acesso em: 17 Março 2015.

REDAÇÃO PENSAMENTO VERDE. Tudo sobre a crise energética brasileira e mundial. **Pensamento Verde**, 2014. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/tudo-sobre-crise-energetica-brasileira-e-mundial/>>. Acesso em: 17 Março 2015.

REIS, L. B. D. Geração de energia elétrica. 2a. ed. Barueri: Manole Ltda, 2011. Cap. 5.

SABER ELETRÔNICO. Resistor Shunt. **Eletrônica**, 2013. Disponível em:

<<http://www.sabereletronica.com.br/artigos-2/3456-fonte-de-corrente-microcontrolada?start=1>>. Acesso em: 1 junho 2015.

SIZA, R. Seca histórica compromete abastecimento de água e luz no Brasil. **Publico**, 2015. Disponível em: <<http://www.publico.pt/mundo/noticia/seca-historica-compromete-abastecimento-de-agua-e-luz-no-brasil-1684691>>. Acesso em: 21 abril 2015.

SOUZA, F. Arduino - Primeiros Passos. **Embarcados**, 2013. Disponível em:

<<http://www.embarcados.com.br/arduino-primeiros-passos/>>. Acesso em: 8 Maio 2015.

SOUZA, L. F. D.; RIBEIRO, R. M. **Sensores piezoresistivos e sensores piezoelétricos**. Centro universitário Cesumar. Maringá. 2013.

TEXEIRA, E. C.; RODRIGUES, M. D. C. B.; BRAGA, H. A. C. **UMA VISÃO TOPOLÓGICA SOBRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS MONOFÁSICOS CONECTADOS À REDE DE ENERGIA ELÉTRICA**. Universidade Federal de Juiz de For. Juiz de fora. 2003.

TOLMASQUIM, M. T. **Energéticas Sustentáveis no Brasil. Rio de Janeiro**. 1a. ed. Rio de Janeiro: Relume Dumara, 2004.

WENDLING, M. **CI Reguladores de Tensão**. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, p. 7. 2009.

ZILES, R.; BENEDITO, R. Série energia e sustentabilidade - Energias Renováveis. 1a. ed. [S.l.]: Edigar Blucher, 2012. Cap. 3, p. 26-39.

## APÊNDICE A - CODIGO LEITOR DE TENSÃO E CORRENTE

```

#include <LiquidCrystal.h> //Inclui a biblioteca do LCD

LiquidCrystal lcd (12, 11, 5, 4, 3, 2); //Configura os pinos do Arduino para se
comunicar com o LCD.

float MC=0;
float volt=0;
int sensorV = A0;
float MV=0;
float corre=0;
int sensorC = A1;
float voltcorre=0;

void setup(){

  lcd.begin(16, 2); //Inicia o LCD com dimensões 16x2(Colunas x Linhas)
  pinMode(sensorV, INPUT);
  pinMode(sensorC, INPUT);
}
void loop() {

  MV = analogRead(sensorV);
  volt = ((30*MV)/1023);

  MC = analogRead(sensorC);
  voltcorre=(MC*5)/1023;
  Corre=(voltcorre/100)*1000; // U=R*I * 100 multiplicou-se por mil para converter
//para miliampere

  // Imprimir

```

```
lcd.setCursor(0, 0); //Posiciona o cursor na primeira coluna(0) e na primeira linha(0)
// do LCD
lcd.print("Voltagem:");
lcd.println(volt);

lcd.setCursor(0, 1); //Posiciona o cursor na primeira coluna(0) e na segunda linha(1)
// do LCD
lcd.print("Corrente:");
lcd.println(corre);}
```