

## GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DA PIEZOELTRICIDADE

Leandro Moreira de Sousa <sup>1</sup>  
Raphael de Souza Clemente <sup>2</sup>  
Samuel Ferreira Mello <sup>3</sup>  
Jorge Manoel Almacinha Costa <sup>4</sup>

### Resumo:

A piezoelectricidade é uma forma de geração de energia que se baseia na obtenção de uma diferença de potencial elétrico a partir da deformação de materiais específicos. Ao sofrerem deformação, esses materiais geram uma carga elétrica que pode ser armazenada e posteriormente utilizada. O conceito da piezoelectricidade é comumente utilizado em sensores de vibração e pressão, geração de micro-ondas, buzzers sonoros, dentre várias outras aplicações. Porém, sua utilização como fonte de energia alternativa ainda é pouco difundida. O presente trabalho tem como objetivo compreender o funcionamento dos materiais piezoelétricos na geração de energia e observar seu funcionamento por meio da construção de um protótipo de um tapete que gera energia elétrica através da deformação de cerâmicas de Titanato de Bário. O tapete é composto por transdutores piezoelétricos que transformam a energia mecânica em elétrica. Testes e medições foram realizadas com o sistema e, apesar dos simples componentes usados na montagem, foram obtidos resultados consideráveis, tornando visível a possibilidade desta tecnologia ser implantada na sociedade como fonte limpa e alternativa de geração de energia elétrica.

**Palavras-Chave:** Transdutor. Titanato de Bário. Tapete Gerador.

## ENERGY GENERATION THROUGH PIEZOELECTRICITY

### Abstract:

Piezoelectricity is a form of energy generation that is based on obtaining an electrical potential difference from the deformation of specific materials. When subjected to deformation, these materials generate an electrical charge that can be stored and subsequently used. The concept of piezoelectricity is commonly used in vibration and pressure sensors, generation of microwaves, sound buzzers, among many other applications. However, its use as an alternative energy source is still less widespread. The present work aims to understand the operation of piezoelectric materials in the generation of energy and observe its operation by means of the construction of a prototype of a carpet that generates electric energy through the deformation of ceramics of Barium Titanate. The carpet is composed of piezoelectric transducers that transform mechanical energy into electric. Tests and measurements were performed with the system and, despite the simple components used in the assembly, considerable results were obtained, making visible the possibility of this technology being implanted in society as a clean and alternative source of electricity generation.

**Keywords:** Transducer. Barium titanate. Carpet Generator.

<sup>1</sup> Graduando (Engenharia Mecânica, UniEvangélica, Brasil). leandromoreira170@gmail.com

<sup>2</sup> Graduando (Engenharia Mecânica, UniEvangélica, Brasil). raphaelsouzaclemente@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando (Engenharia Mecânica, UniEvangélica, Brasil). samuelmello11@gmail.com

<sup>4</sup> Especialista (Metodologia do ensino superior, UEG, Brasil). jorgealmacinha@gmail.com

## 1. Introdução

O crescente consumo de energia elétrica e os impactos que as atuais formas de geração causam no meio ambiente tornam necessário o desenvolvimento de formas alternativas de gerar energia limpa e autossustentável. Uma alternativa muito estudada atualmente baseia-se na capacidade de alguns materiais de gerar energia elétrica ao sofrerem pressão mecânica, a chamada piezoelectricidade [1]. Segundo Cancio e Ghissoni, a piezoelectricidade é uma alternativa limpa de geração de energia, pois não utiliza combustíveis no seu funcionamento, portanto, não polui o meio ambiente. Dizem ainda que os materiais com propriedades piezoelétricas geram um diferencial de potencial elétrico ao serem submetidos à uma pressão mecânica. O efeito inverso desse fenômeno também pode ser observado ao aplicar um potencial elétrico ao material, que resultará na deformação do mesmo, ou seja, conversão dessa energia elétrica em mecânica. [2]

Em 1880, na França, os irmãos Pierre e Jacques Curie perceberam que certos cristais se deformavam ao ser submetidos à um diferencial de carga elétrica, descobrindo assim a piezoelectricidade. Porém, os irmãos não previram o efeito inverso desse fenômeno, o qual era possível obter um diferencial elétrico ao deformar o cristal. A reversibilidade do efeito foi constatada matematicamente no ano seguinte por Gabriel Lippmann, e confirmada imediatamente pelos irmãos Curie. Desde então a piezoelectricidade vem sendo estudada, explorando principalmente as estruturas cristalinas que conseguem gerar carga elétrica. Durante as décadas de 40 e 50, a URSS e o Japão desenvolveram as cerâmicas piezoelétricas de Titanato de Bário ( $\text{BaTiO}_3$ ), material usado neste estudo. Os EUA desenvolveram as cerâmicas piezoelétricas de Titanato Zirconato de Chumbo ( $\text{Pb}[\text{Zr}_x \text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$ ) e Titanato de chumbo ( $\text{PbTiO}_3$ ). [1]

A piezoelectricidade direta, isto é, conversão de energia elétrica em mecânica, é encontrada em dispositivos com buzzers sonoros, transformando a energia elétrica em vibração mecânica; geradores de micro-ondas; aparelhos de ultrassom e eletroterapia dentre vários outros. Já a piezoelectricidade reversa é

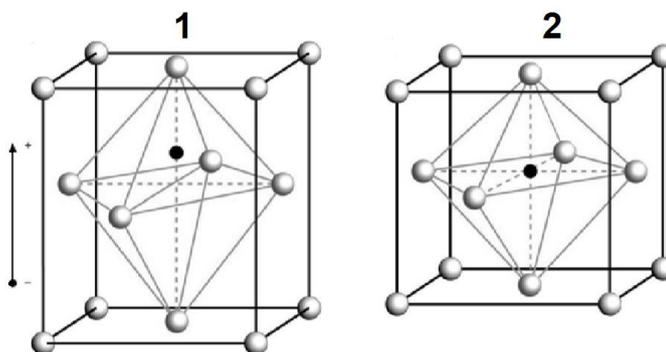
aplicada por exemplo em sensores de vibração e impacto, transformando a energia mecânica em um sinal elétrico mensurável; geradores de faísca em isqueiros e acendedores de fogão; e na produção de energia elétrica, tema deste estudo. [1]

O presente trabalho tem como objetivo compreender o funcionamento dos materiais piezoelétricos na geração de energia e observar seu funcionamento por meio da construção de um protótipo de um tapete, que gera energia elétrica através da deformação de cerâmicas de Titanato de Bário.

## 2. Referencial Teórico

As cerâmicas piezoelétricas possuem em sua composição inúmeros cristais ferroelétricos microscópicos. Particularmente nas cerâmicas de Titanato Zirconato de Chumbo ( $\text{Pb}[\text{Zr}_x \text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$ ), estes compostos possuem estrutura cristalina tipo Perovskita, que apresenta simetria tetragonal, romboédrica ou cúbica simples, dependendo da temperatura em que o material se encontra, vide figura 1. Quando a estrutura está abaixo de uma determinada temperatura crítica, a chamada temperatura de Curie, apresenta a simetria tetragonal em que o centro de simetria das cargas elétricas positivas e negativas não se coincidem, dando origem a um dipolo elétrico, representado no item 1 figura 1. [3,4]

**Figura 1** - Estrutura Perovskita das cerâmicas piezoelétricas Titanato Zirconato de Chumbo: 1) Abaixo da temperatura de Curie. 2) Acima da temperatura de Curie.



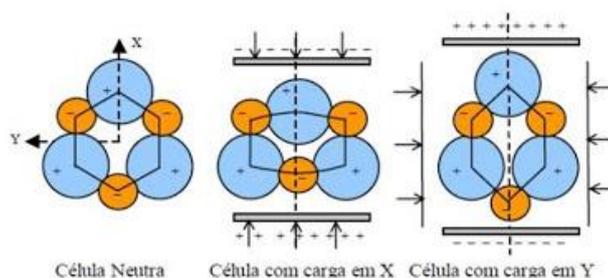
Fonte: [4]

Havendo o dipolo, a estrutura se deforma quando submetida a um campo elétrico, caracterizando a piezoelectricidade direta, e gera um potencial elétrico

quando submetida a uma deformação mecânica, caracterizando a piezoelectricidade reversa. [4]

A deformação mecânica nas cerâmicas piezoelétricas resultam na polarização no material, gerando assim uma diferença de potencial. A imagem abaixo ilustra o comportamento das cargas decorrente da deformação mecânica:

**Figura 2:** Representação das cargas decorrentes da deformação



Fonte: [5]

As cargas de uma cerâmica piezoelétrica são estaticamente balanceadas, mesmo com a ausência de simetria, quando esta cerâmica é submetida a uma força mecânica, faz com que ocorra a separação das cargas positivas e negativas, produzindo tensão elétrica nas faces das cerâmicas. [6]

### 3. Metodologia

Após o estudo teórico do efeito piezoelétrico, surgiu a necessidade de observar na prática o funcionamento do conceito. A fim de criar um instrumento didático de apresentar o conceito e também colocar à prova a piezoelectricidade, foi desenvolvido um protótipo experimental que gera eletricidade através de materiais piezoelétricos. O protótipo representa uma espécie de tapete que, ao receber pressão vertical, deforme o material piezoelétrico sob si, produzindo eletricidade.

#### 3.1. Materiais

Considerando que o protótipo foi usado apenas para estudo, foram utilizados na montagem componentes simples, como:

- Transdutor Piezoelétrico Ø35mm;
- Cabo elétrico 0,5mm;
- Diodo 1N4007;
- Capacitor Eletrolítico 4700 µF X 16V;
- Resistor 820Ω 10% 1/8W;
- Ferro De Solda Hikari Power 30 220VAC 25W;
- Estanho para solda elétrica;
- LED 5mm Transparente Branco 18.000 MCD;
- Multímetro Digital MS8221B - LEETOOLS-601085;
- Placas de Acrílico com espessura de 18mm;
- Amortecedores adesivos de poliuretano – hemisférico Ø9.5x5.4mm;

A imagem da Figura 3 mostra o multímetro, o ferro de solda e o estanho utilizado:

**Figura 3:** Multímetro digital, ferro de solda e estanho



Fonte: Os autores

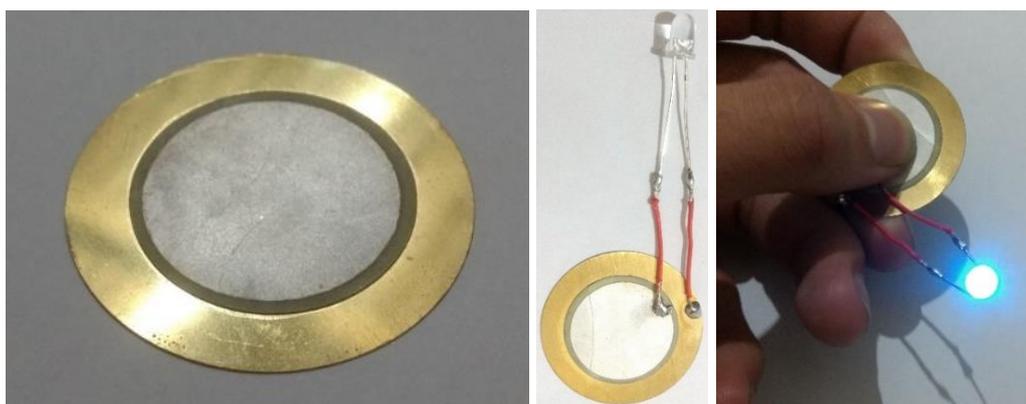
### 3.2. Métodos

O transdutor (dispositivo que converte uma forma de energia em outra) usado no experimento é composto por um disco de latão com um disco cerâmico a

base de Titanato de Bário (material piezoelétrico) em seu centro. Ao exercer uma pressão mecânica no centro deste transdutor, a fim de ligeiramente deformá-lo, a cerâmica será contraída ou expandida dependendo da direção da força, resultando na modificação em sua polarização elétrica, isto é, diferença de potencial. A carga elétrica fluirá da cerâmica para o metal e vice-versa, conforme os materiais são deformados.

Um teste manual foi feito para avaliar a potência de um único transdutor, conectando os terminais de um LED (diodo emissor de luz) de 5 mm no metal e na cerâmica. Observou-se que uma corrente é gerada no instante em que o transdutor está sendo pressionado e flexionado manualmente (comprimindo a cerâmica), acendendo a lâmpada de LED a cada pulso. Notou-se também que após a deformação, enquanto o transdutor retorna à sua forma inicial (expandindo a cerâmica), é gerada uma corrente no sentido oposto, não acendendo o LED, já que o mesmo tem polarização semelhante a um diodo semiconductor. Sendo assim, o efeito contrário acontece quando se inverte os terminais do LED no transdutor, acendendo na expansão e não na compressão. O transdutor usado e o teste realizado são representados na Figura 4:

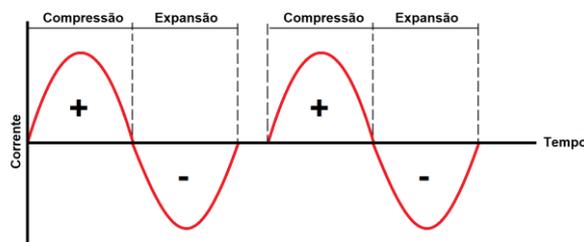
**Figura 4:** Transdutor piezoelétrico



**Fonte:** Os autores

Ciente destes fatos foi possível criar um gráfico que representa a variação no sentido da corrente nos polos do transdutor a cada pulso (compressão ou expansão):

**Gráfico 1:** Sentido da corrente sem retificação - Corrente x Tempo



**Fonte:** Os autores

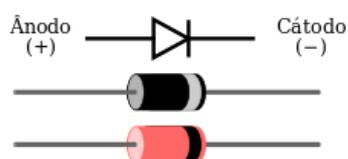
Considerando que o LED aproveitou somente a corrente direta à sua polaridade (semiciclo positivo), concluiu-se que metade da energia gerada foi desperdiçada.

Para aproveitar a outra metade da energia gerada, (semiciclo negativo), foi utilizada uma ponte retificadora para converter a corrente alternada produzida pelo transdutor em corrente contínua, a chamada retificação de onda completa, alimentando o LED em sua polarização direta tanto na compressão quanto na expansão do transdutor, tornando possível o aproveitamento de toda a energia gerada.

A ponte é composta por diodos semicondutores, que são componentes eletrônicos que permitem que a corrente os atravesse apenas se a polarização da fonte geradora for direta à sua polarização. A polarização é direta quando o terminal do diodo denominado Ânodo está conectado ao polo positivo da fonte e o terminal denominado Cátodo conectado ao polo negativo. Caso contrário, na polarização inversa, a corrente é bloqueada.

A figura 5 representa a aparência real do diodo e sua simbologia que representa seus terminais ânodo (+) e cátodo (-):

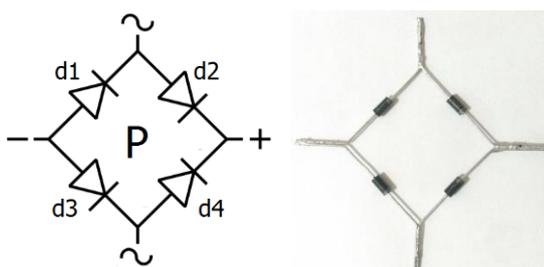
**Figura 5:** Aparência real do diodo, no mesmo alinhamento que o seu símbolo



**Fonte:** [7]

A ponte retificadora (P) foi construída soldando quatro diodos (d1, d2, d3 e d4) de acordo com o diagrama elétrico da figura 6, em que o símbolo (~) representa a entrada de corrente alternada e os sinais (+, -) a saída da corrente contínua. A Figura 6 também mostra a montagem real da ponte retificadora construída.

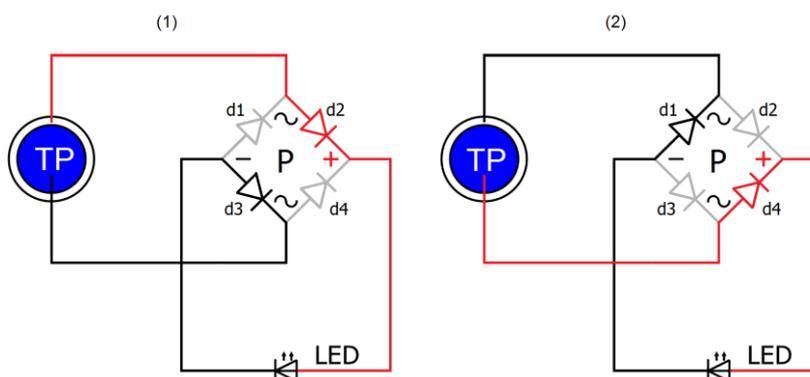
**Figura 6:** Diagrama elétrico e montagem da ponte retificadora



Fonte: Os autores

Para compreender o comportamento da corrente elétrica ao passar pela ponte retificadora foi criado um diagrama representando o caminho da corrente conforme o sentido da polarização varia, Figura 7. No diagrama, o transdutor piezoelétrico (TP) é a fonte geradora de corrente alternada e o LED é a carga, que receberá corrente contínua.

**Figura 7:** Diagrama elétrico representando o funcionamento da ponte retificadora



Fonte: Os autores

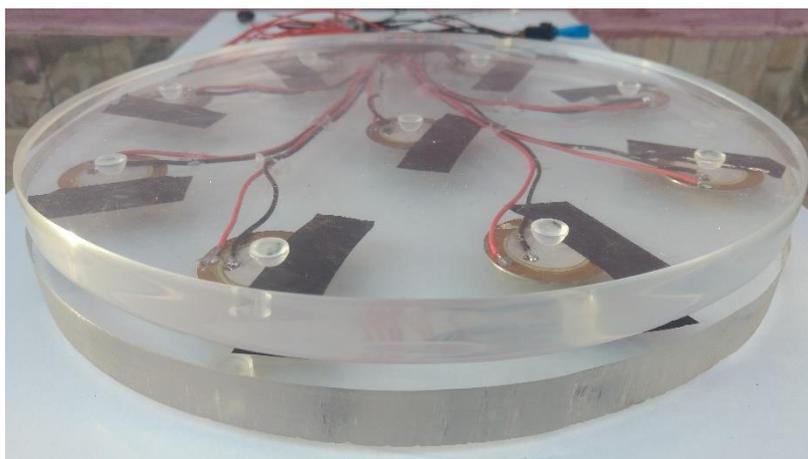
No exemplo 1, a corrente que sai do polo metálico do TP (representada em vermelho) está fluindo pelo diodo (d2), que está diretamente polarizado, e sendo bloqueada pelos diodos (d1 e d4), que estão inversamente polarizados. Após passar pelo LED, a corrente (representada em preto) flui pelo diodo (d3) e retorna para o polo cerâmico do transdutor.

Seguindo o mesmo princípio, quando a polarização do TP é invertida (exemplo 2) a corrente flui pelo diodo (d4) e é bloqueada pelos diodos (d2 e d3). Após passar pelo LED a corrente flui pelo diodo (d1) e também retorna para o transdutor. Nota-se que independente do sentido da corrente gerada pelo TP, o LED sempre receberá corrente direta à sua polarização.

### 3.2.1. Montagem do protótipo

Com o objetivo de aumentar quantidade de energia gerada, desenvolveu-se um dispositivo que reúne vários transdutores piezoelétricos a serem pressionados por uma única plataforma e armazena a energia gerada em um capacitor. Foram distribuídos 9 transdutores entre duas placas de acrílico de 18 mm de espessura cortadas em círculo de 280 mm de diâmetro. A placa superior, que receberá a pressão, recebeu pequenos amortecedores hemisféricos de poliuretano posicionados no centro de cada transdutor, com o propósito de transmitir a pressão da placa para os mesmos e também protegê-los, amortecendo os impactos da placa que poderiam danificar a cerâmica piezoelétrica. A montagem do dispositivo denominado tapete piezoelétrico é representada na Figura 8:

**Figura 8:** Tapete piezoelétrico

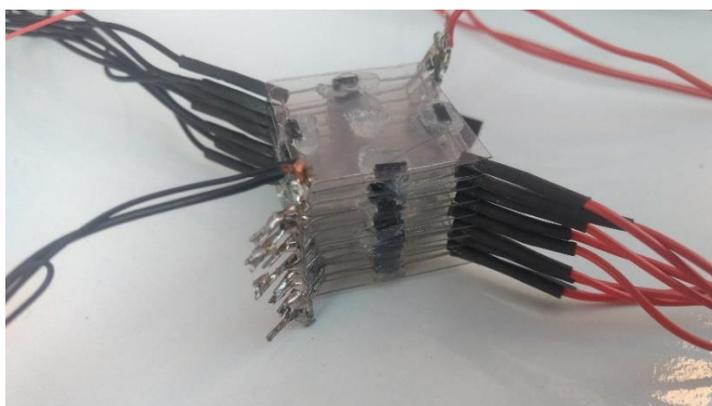


**Fonte:** Os autores

Cabos elétricos de 0,5 mm de espessura foram soldados aos polos metálico e cerâmico de cada transdutor para conduzir a carga gerada à um conjunto de 9

pontes retificadoras (uma para cada transdutor), que converterão as correntes alternadas em corrente contínua, conforme Figura 9:

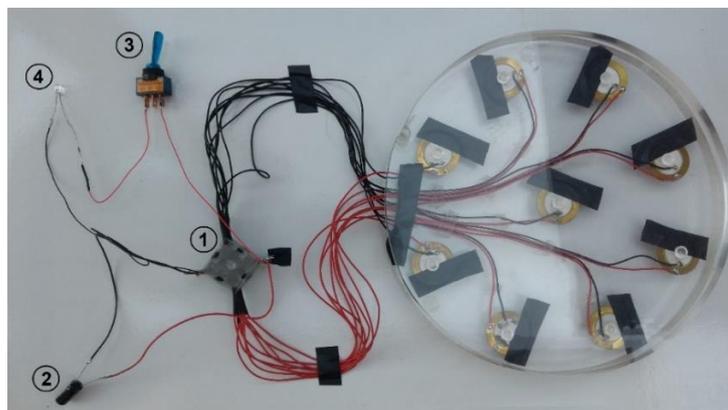
**Figura 9:** Conjunto de pontes retificadoras



**Fonte:** Os autores

A corrente resultante é equivalente à soma das correntes geradas por cada transdutor. A Figura 10 representa a montagem completa do protótipo do tapete piezoelétrico. Um capacitor eletrolítico (2) com capacitância de 1000  $\mu\text{F}$  foi usado para armazenar a carga gerada. A retificação da corrente para contínua através do conjunto de pontes (1) foi útil para alimentar o capacitor, já que o mesmo é polarizado e exige que seu eletrodo ânodo receba sempre tensão positiva. Um LED de 5 mm (4) foi conectado ao capacitor, acendendo e consumindo a energia armazenada. Uma chave (3) foi usada para fechar o circuito entre o LED e o capacitor. Todo o teste foi mensurado por um multímetro digital conectado aos terminais do capacitor.

**Figura 10:** Montagem completa do protótipo

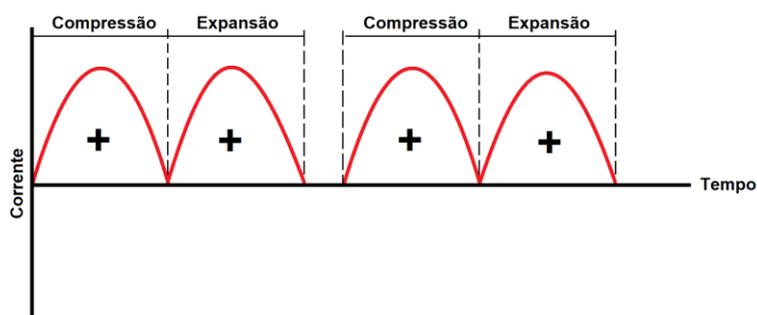


**Fonte:** Os autores

#### 4. Resultados e discussão

A ponte retificadora permitiu que toda a carga gerada, tanto na compressão como na expansão do material, fosse aproveitada para carregar o capacitor. O gráfico 2 foi criado para mostrar o efeito da ponte retificadora no sentido da corrente nos polos do transdutor a cada pulso (compressão ou expansão). Houve a retificação de onda completa, tornando todos os semiciclos positivos.

**Gráfico 2:** Sentido da corrente com retificação - Corrente x Tempo



Fonte: Os autores

Aplicando pressão repetidas vezes sobre o tapete durante cerca de 30 segundos e medindo a energia armazenada no capacitor com um multímetro digital, obteve-se valores de tensão próximo dos 12 Volts. Em seguida, o LED foi conectado ao capacitor descarregando a energia armazenada. Para impedir que o capacitor fosse drenado instantaneamente podendo danificar o LED, um resistor de  $820 \Omega$  foi ligado em série ao LED, limitando o fluxo da corrente. A carga foi capaz de manter o LED aceso por cerca de 20 segundos, enquanto a tensão no capacitor foi reduzida para cerca de 2 Volts.

Os testes evidenciaram a capacidade dos materiais piezoelétricos gerar uma quantidade de energia consumível. Ressaltando que um dispositivo construído com materiais específicos para esse fim seria capaz de converter a energia de forma mais eficiente.

## 5. Conclusões

As pesquisas realizadas trouxeram conhecimento teórico sobre os materiais piezoelétricos possibilitando o desenvolvimento de um protótipo que colocou à prova os conceitos da piezoeletricidade. Embora tenham sido utilizados na montagem materiais simples, não designados a este propósito, foram obtidos resultados consideráveis. É válido ressaltar que a montagem do protótipo teve como objetivo o estudo e a demonstração do efeito piezoelétrico na geração de energia.

## 6. Referências

1. ARMENDANI, Willian Alves; et. al. **Conhecendo a Piezoeletricidade, uma nova forma de geração de energia elétrica.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 1. Vol. 9. pp 314-320. , outubro / novembro de 2016. ISSN: 2448-0959
2. L. D. Cancio and S. Ghissoni, **Piezoeletricidade: a Geração de Energia Limpa e Suas Aplicações.** *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 2013. [Online]. Available: <http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/6035>.
3. PERLINGEIRO, Antônio Ramos; PIMENTA, Gilberto Maia; SILVA, Salviano Evaristo da. **Geração de energia através de materiais piezoelétricos.** 2016. Disponível em: <[http://www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/Geração de Energia através de Materiais Piezoelétricos.pdf](http://www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/Geração%20de%20Energia%20através%20de%20Materiais%20Piezoelétricos.pdf)>. Acesso em: 06 maio 2018.
4. PEREIRA, A.H.A. **Cerâmicas piezoelétricas: funcionamento e propriedades.** 2010. Disponível em: <[http://www.atcp-ndt.com/imagens/produ tos/ceramicas/artigos/RT-ATCP-01.pdf](http://www.atcp-ndt.com/imagens/produ%20tos/ceramicas/artigos/RT-ATCP-01.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2018.
5. R. G. Vieira, **A piezoeletricidade no cotidiano**, 2013. [Online]. Available: <http://parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/08/a-piezoeletricidade-no-cotidiano.html>.
6. SILVA, R. P. da. (n.d.). **Piezoeletricidade como fonte de energia alternativa.** Faculdades Santo Agostinho – FASA, 13.)
7. WIKIPÉDIA. **Diodo semicondutor.** 2018. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo\\_semicondutor](https://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo_semicondutor)>. Acesso em: 6 nov. 2018.