



ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

CURSO TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA

PRODUÇÃO DE ENERGIA COM SISTEMAS PIEZOELÉTRICOS

GUILHERME ANTÔNIO DE OLIVEIRA

IÁGO FILIPE DE OLIVEIRA

SÃO LEOPOLDO

2020

GUILHERME ANTÔNIO DE OLIVEIRA
IÁGO FILIPE DE OLIVEIRA

PRODUÇÃO DE ENERGIA COM SISTEMAS PIEZOELÉTRICOS

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de eletromecânica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação do Prof. Gerry Sanchez.

SÃO LEOPOLDO
2020

RESUMO

Este projeto visa o estudo de materiais inteligentes (sistema piezoelétrico) para geração de energia limpa e renovável utilizando o conceito de energy harvesting, ou seja, utilizar energia mecânica para a produção de energia elétrica. A conversão de vibração em energia elétrica é uma das formas amplamente estudadas com a utilização de elementos piezoelétricos. O efeito piezoelétrico é entendido como a interação eletromecânica linear entre a força mecânica e o estado elétrico (forças de Coulomb) em materiais cristalinos (cerâmicos, polímeros).

O efeito piezoelétrico é um processo reversível em que os materiais exibem o efeito piezoelétrico direto (a geração interna de carga elétrica resultante de uma força mecânica aplicada), mas também exibem o efeito piezoelétrico reverso (a geração interna de uma tensão mecânica resultante de um campo elétrico aplicado), em outras palavras, os sensores piezoelétricos são pequenas células de cerâmicas ou polímeros que podem gerar um campo elétrico com compressões em sua estrutura, fazendo assim a conversão de energia mecânica em energia elétrica.

Aplicando um tapete composto de sistemas piezoelétricos na entrada de locais comerciais ou de grande fluxo de pessoas, armazenando a energia criada com baterias de lítio, pode ser obtido uma economia no gasto com energia elétrica aplicando em circuitos de iluminação ou outros elementos. Como dito antes, lugares pavimentados tem o poder de geração maior por conta da quantidade de pessoas que passam pelo dispositivo gerando assim a energia elétrica a partir das compressões causadas ao caminhar em cima dos sensores Piezoelétricos.

Por fim, foi analisado quanta energia elétrica pode ser criada com o sistema aplicado e assim verificado se é benéfico a aplicação e em quanto tempo seria retornado o investimento inicial.

Palavras Chave: Energy Haversting, Piezoelétrico

ABSTRACT

This project aims at the study of intelligent materials (piezoelectric system) for the generation of clean and renewable energy, using the concept of energy harvesting, that is, using mechanical energy for the production of electrical energy. The conversion of vibration into electrical energy is one of the ways widely studied with the use of piezoelectric elements. The piezoelectric effect is understood as a linear electromechanical interaction between electrical force (Coulomb forces) in crystalline materials (ceramics, polymers).

The piezoelectric effect is a reversible process in which materials exhibit the direct piezoelectric effect (an internal generation of electrical charge applied to an applied mechanical force), but also exhibit the reverse piezoelectric effect (an internal generation of a mechanical force applied to an electric field) applied electric), in other words, piezoelectric sensors are small ceramic cells or polymers that can generate an electric field with compressions in its structure, thus converting mechanical energy into electrical energy.

By applying a carpet made up of piezoelectric systems at the entrance of commercial premises or with a large flow of people, storing energy created with site batteries, savings can be recovered without spending on electricity applied to lighting circuits or other elements. As stated before, paved places have the greatest generating power due to the number of people passing through the device, thus generating electrical energy from the compressions caused when walking on top of piezoelectric sensors.

Finally, the amount of electrical energy that can be created with the applied system was analyzed and, therefore, it is applied to a beneficial application and in how long the return on the investment started would be.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de efeito direto.....	13
Figura 2: Exemplo de efeito inverso.....	13
Figura 3: Placa geradora de energia.....	15
Figura 4: Processos químicos em uma bateria de lítio.....	18
Figura 5: Circuito PIEZO/Bateria/LED.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Orçamento de aplicação.....	21
Tabela 2: Cronograma de projeto.....	24

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	9
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	9
1.2 PROBLEMAS DE PESQUISA	9
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 OBJETIVO GERAL	9
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	10
1.4 JUSTIFICATIVA	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 ESTADO DA ARTE	10
2.1.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS	10
2.1.2 TAPETE PIEZOELÉTRICO	11
2.1.3 TRANSDUTORES DE TRANSFORMAÇÃO A BASE DE SISTEMAS PIEZOELÉTRICOS	11
2.1 SENSORES PIEZOELÉTRICOS	12
2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA COM SISTEMA PIEZOELETRICO	14
2.2.1 BOATES COM PISO GERADOR DE ENERGIA	14
2.2.2 CRIAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO SISTEMA PIEZOELÉTRICO EM CALÇADAS	15
2.3 PILHAS E BATERIAS	15
2.3.1 NOMENCLATURA	15
2.3.2 TIPOS DE BATERIAS	16
2.3.2.1 BATERIAS PRIMARIAS	16
2.3.2.2 BATERIAS SECUNDARIAS	16
2.3.3 BATERIAS DE ÍONS LÍTIO	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 ESCOLHA DO LOCAL DE APLICAÇÃO	18
3.2 CIRCUITO PIEZO/BATERIA/LED'S	19
3.3 CONSTRUÇÃO DE UMA MAQUETE	20
3.4 ANÁLISE DE CUSTOS	20
4. ANÁLISE DE RESULTADOS	21
4.1 ANÁLISE DE PROTÓTIPO	21
4.2 COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE FONTES BIBLIOGRÁFICAS	22
4.2.1 DADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA	22
4.2.2 CONSUMO DE ENERGIA DE SHOPPINGS	22
4.2.3 ANÁLISE DE ECONOMIA	23

5. CRONOGRAMA	24
6. CONCLUSÃO	25

1. INTRODUÇÃO

Segundo Almeida et al. (2018) “Com o aumento do consumo de energia elétrica através de fontes esgotáveis, a engenharia tem se aperfeiçoado em gerar energia limpa através de fontes renováveis encontradas na natureza”, como por exemplo: energia fotovoltaica (painéis solares), energia eólica (piezoelétricos) e etc.

Ao utilizar-se dos materiais piezoelétricos para geração de energia elétrica ocasionará em energia limpa podendo ser utilizada em dispositivos como tapetes compactos localizados em entradas de boates, condomínios, prédios residenciais e comerciais, gerando energia elétrica que poderá ser usada em lâmpadas e pequenos objetos eletrônicos, e sua distribuição não utilizará cabos de fornecimento convencional de energia aumentando assim a autonomia dos sistemas elétricos atuais.

Tem sido utilizado material piezoelétrico como fonte de energia limpa, forma alternativa de geração de autonomia energética devido ao grande potencial de geração de energia através das vibrações e impactos nas cédulas piezoelétricas sendo instalada em locais estratégicos para sua produção e captação de energia elétrica.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Aplicação do sistema piezoelétrico com finalidade predial, verificando através de pesquisas, testes e cálculos, em quanto tempo se teria retorno financeiro, e quanta energia poderia ser produzida por meio deste sistema.

1.2 PROBLEMAS DE PESQUISA

Com a produção de energia de energia elétrica com os sensores piezoelétricos, é possível obter-se uma economia de 5% no gasto total com energia elétrica?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um dispositivo com sensores piezoelétricos que transforma energia mecânica em energia elétrica. Fazer uma análise comparando o preço de produção desse dispositivo com a economia gerada a partir da utilização do mesmo.

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Verificar se é possível obter uma economia de 5% na conta da luz, com a produção de energia elétrica individual do dispositivo piezoelétrico para lâmpadas e outros aparelhos menores;
- Causar um impacto ambiental positivo com a utilização da energia limpa;
- Comparar a economia obtida com seu custo de produção e desenvolvimento da energia elétrica, vendo assim se é rentável a produção extra de energia elétrica com este dispositivo.

1.4 JUSTIFICATIVA

A escolha deste projeto tem o princípio de obtenção de energia elétrica sustentável e alternativa. Entretanto, desenvolver um projeto que atende essa necessidade, que denomina-se um baixo custo de certa forma e constitui-se de uma geração de energia limpa e renovável, com intuito de um retorno justo com o que é gasto atualmente.

Com a sua preservação em baterias para conservar a energia elétrica produzida e assim sendo gasta de forma mais eficiente no futuro, para produzir e utilizar da mesma sem os aumentos extras que já possuem nas contas de luz.

Por fim, este trabalho visa mostrar os benefícios de instalações de sensores piezoelétricos em dispositivos como tapetes com a finalidade de apresentar a produção de energia elétrica com eficiência, economia e sem agredir o meio ambiente como a energia nuclear faz com a atmosfera. Demonstrar que é possível produzir energia elétrica de um modo renovável, simples e barato.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTADO DA ARTE

2.1.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS

Segundo Perlingeiro et al. (2016): “O presente trabalho visa a realização de estudos experimental e numérico do uso de materiais piezoelétricos para geração de energia. Serão realizados ensaios experimentais do sistema de geração de energia com materiais piezoelétricos sujeito a vibrações. Diferentes parâmetros como amplitude e frequência serão variados para verificar a resposta do sistema. Em seguida serão

incluídos ímãs em diferentes arranjos nas proximidades do piezoelétrico para estudo da resposta não-linear do sistema. Por fim, será realizado o desenvolvimento e calibração de um modelo numérico do sistema de geração de energia acoplado a um circuito elétrico por um elemento piezoelétrico prevendo sua resposta nos regimes linear e não-linear”.

O projeto é bem elaborado, com uma boa fundamentação e com planejamento definido, porém não há fundamentação no quesito financeiro, não especificando quanto custará todo o equipamento. No trabalho será implementado cálculos definindo todo o investimento necessário e em quanto tempo poderá haver retorno financeiro.

2.1.2 TAPETE PIEZOELÉTRICO

Segundo De Jesus et al (2014): “O objetivo deste trabalho é desenvolver critérios, conceitos e desenvolvimento de uma nova forma de geração de energia elétrica com menos custo e menor dano ambiental.

Demonstrando o princípio de funcionamento de pastilhas piezoelétricas através do tapete piezoelétrico, demonstrando a energia gerada por pressão, seja por veículos ou pessoas caminhando”.

A pesquisa de todo modo é bem elaborada, particularmente interessante o fato da utilização de capacitores para o armazenamento a curto período de tempo da energia, porém seria mais viável a utilização de baterias para o armazenamento, tanto pelo fato de capacitores terem um custo maior quanto por armazenarem a energia por um maior período de tempo, é importante salientar também que somente foi dado o valor do protótipo em menor escala, não demonstrando uma aplicação maior do projeto, nem quanto custaria. No trabalho será utilizado baterias para armazenar a energia, tanto por seu menor custo e melhor funcionalidade e serão apresentados cálculos financeiros demonstrando quanto capital inicial seria necessário ser aplicado para o projeto em grande escala.

2.1.3 TRANSDUTORES DE TRANSFORMAÇÃO A BASE DE SISTEMAS PIEZOELÉTRICOS

Lima (2013) relata que neste trabalho, foi mostrado um estudo analisando os resultados da experiência relacionada aos cristais piezoelétricos. Os sensores piezoelétricos apresentam uma natureza interessante para a criação de dispositivos que convertem energia mecânica em energia elétrica, podendo se deformar com facilidade ou ter outros tipos de

deformações como compressão, tração, flexão e cisalhamento. Contudo, esses cristais podem ser acoplados em diferentes lugares e dispositivos, fazendo assim a prática de invenções de novos geradores um fenômeno mais ocorrente.

O trabalho é completo, apresenta bem a teoria do que vai ser aplicado, utilizando gráficos, cálculos e equipamentos, o mesmo pode ser dito dos protótipos que demonstraram os resultados da pesquisa. Todavia não houve especificação de uma aplicação útil a sociedade para o trabalho, sendo feito apenas para o conhecimento técnico, além disso, também não foi demonstrado nenhum valor financeiro dos protótipos, deixando assim sem margem para uma continuação do trabalho por terceiros.

2.1 SENSORES PIEZOELÉTRICOS

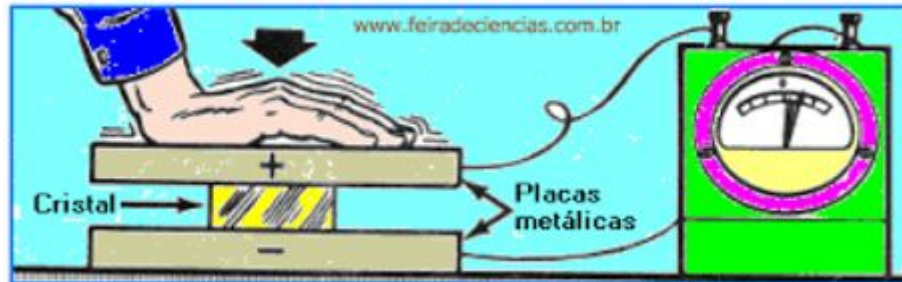
Piezoelasticidade é um termo derivado do grego que tem significado de pressionar. Pois a eletricidade do sistema piezoelétrico é derivada de uma carga mecânica aplicada a um cristal geralmente de quartzo.

Segundo Perlinger et al(2016) “A Piezoelasticidade foi descoberta pelos irmãos Pierre e Jacques Curie na França, em 1880, o efeito piezoelétrico é apresentado em cristais. Os irmãos Curie, no entanto, não previram o efeito piezoelétrico inverso. O efeito inverso foi matematicamente deduzido de princípios fundamentais da termodinâmica por Gabriel Lippmann em 1881. Os Curie imediatamente confirmaram a existência do efeito inverso, o que evidenciou de forma quantitativa a reversibilidade completa de um acoplamento eletromecânico para as deformações em cristais piezoelétricos. Nas décadas seguintes, a piezoelasticidade permaneceu como sendo uma curiosidade de laboratório. Mais trabalho foi feito para explorar e definir as estruturas cristalinas que tinham a propriedade de gerar corrente elétrica. Isso culminou no ano de 1910, com a publicação do livro de Woldemar Voigt Lehrbuch der Kristallphysik (Textbook no Crystal Física), que descreve 20 classes de cristais naturais capazes de gerar corrente quando submetidos a pressão mecânica, e rigorosamente definidas as constantes piezoelétricas usando análise tensorial.”

Portanto, o fenômeno é basicamente a transformação de energia de origem mecânica em elétrica e vice-versa. A piezoelasticidade é presente em diversos materiais cristalinos e pode ser dita direta ou inversa. O efeito direto é quando a aplicação de um esforço mecânico sobre o material provoca uma modificação na polarização elétrica do material, isto é, uma

diferença de potencial. Já o inverso consiste na aplicação de um campo elétrico que culmina em uma deformação do material.

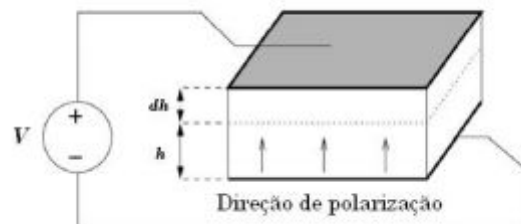
Figura 1 - Exemplo de efeito direto



Fonte: Martins (2016)

Efeito direto se caracteriza por gerar energia elétrica através de força mecânica diretamente aplicada do decorrer das placas de cerâmicas PTZ. (ALMEIDA, 2018)

Figura 2 - Exemplo de efeito inverso



Fonte: Natal (2008)

O efeito inverso é caracterizado pela aplicação de uma diferença de potencial na estrutura policristalinas no qual gera a dilatação do material piezoelétrico realizando a deformação do material. (CAMARA, 2012).

O sensor converte um estímulo em um sinal que pode ser medido. Bush-Vihniac (1998), comenta que sensores são (idealmente) dispositivos que monitoram parâmetros de um sistema sem que haja troca de energia entre o sensor e o sistema a ser medido. No entanto, para se realizar uma medida sobre um parâmetro de um sistema, é necessário interagir energeticamente com este sistema, adicionando ou retirando energia de alguma forma. Assim, um sensor é um transdutor que deve ser projetado de forma a ter uma grande impedância de entrada.

Em sua forma mais simples de operação, os sensores piezoelétricos quando fixados na

superfície de um componente estrutural se comportam como sensores de deformação dinâmica. As principais vantagens destes sensores em relação aos sensores de deformação tradicionais é a sua alta sensibilidade à deformação, o suprimento de energia não é necessário (cristais piezoelétricos são auto-geradores) e podem operar a altas temperaturas. Sua excelente sensibilidade permite que deformações inferiores a $0,1\mu\epsilon$ possam ser facilmente percebidas.

Laskovski et al (2011) em seu trabalho com transdutores a base de cerâmicas piezoelétricas conseguiu respostas lineares para deformações na ordem de 10 picostrain. Entretanto, devido a sua natureza capacitiva, a resposta dos sensores piezoelétricos depende de como a deformação se comporta ao longo do tempo.

Além das vantagens mencionadas, os sensores cerâmicos piezoelétricos apresentam a possibilidade de serem preparados de uma grande variedade de composições, o que permite controlar ou alterar suas propriedades físicas, e a possibilidade de serem produzidos numa variedade de geometrias. (LIMA, 2013).

2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA COM SISTEMA PIEZOELETRICO

Os sistemas piezoelétricos já estão sendo aplicados de diversas maneiras, buscando uma forma ecológica de obtenção de energia, aqui será evidenciado algumas aplicações desse sistema que possuem alguma semelhança a este projeto.

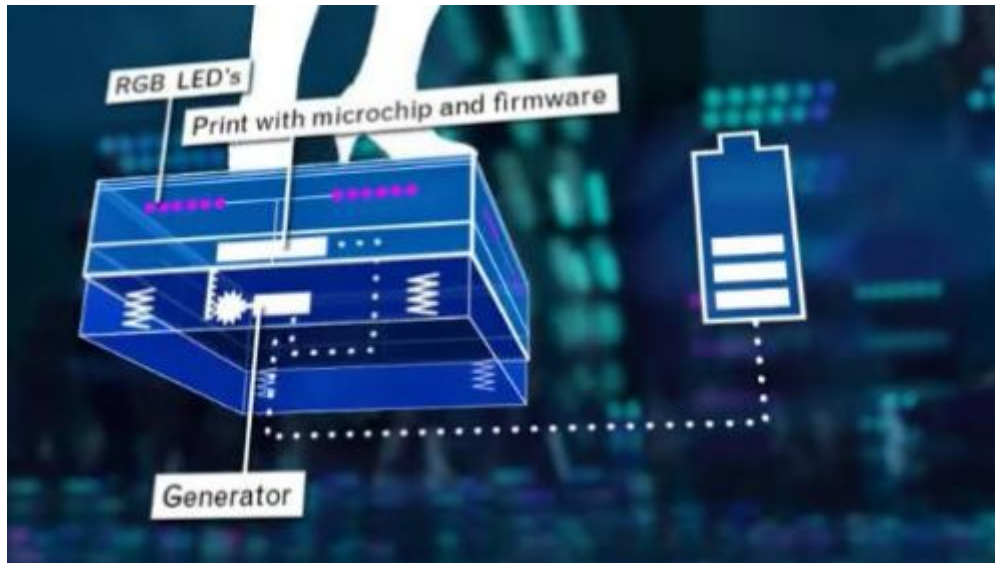
2.2.1 BOATES COM PISO GERADOR DE ENERGIA

A ideia foi realizada pela Sustainable Dance Club(2008), um grupo formado de engenheiros, inventores e investidores holandeses, a ideia consiste em utilizar sistemas piezoelétricos aplicados no chão de uma boate para extrair energia elétrica da movimentação de pessoas.

Segundo o proprietário, 10% da energia total utilizada na boate é produzida pela pista.(PERLINGERO, 2016).

Segundo Perlingero et al(2016) “Seu funcionamento acontece por meio de módulos que são flexionados levemente quando sofrem pressão conforme as pessoas se movimentam. Dentro de cada módulo existe um sistema eletromecânico que transforma o movimento vertical, produzido pelas pessoas dançando, em movimento rotativo que aciona um gerador. Cada módulo tem o tamanho de 75x75x20 cm e pode produzir até 35 Watts de saída sustentável, e de 5 a 20 Watts por pessoa.”

Figura 3 - Placa geradora de energia



Fonte: Perlingero et al (2016)

2.2.2 CRIAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO SISTEMA PIEZOELÉTRICO EM CALÇADAS

Sistemas Piezoelétricos também podem ser aplicados em calçadas, de modo que uma quantidade considerável de energia elétrica pode ser gerada onde há constante fluxo de pessoas.

Segundo Perlingero et al(2016) Estima-se que pode ser gerado 1 KW para cada 100 metros de piso com material piezoelétrico se três mil pessoas passarem a cada hora pelo local.

2.3 PILHAS E BATERIAS

2.3.1 NOMENCLATURA

Segundo Bocchi et al (2000) “Há um certa confusão na terminologia usada para se referir aos sistemas eletroquímicos. Em princípio, o termo *pilha* deveria ser empregado para se referir a um dispositivo constituído unicamente de dois eletrodos e um eletrólito, arranjados de maneira a produzir energia elétrica. O eletrólito pode ser líquido, sólido ou pastoso, mas deve ser, sempre, um condutor iônico. Quando os eletrodos são conectados a um aparelho elétrico uma corrente flui pelo circuito, pois o material de um dos eletrodos oxida-se espontaneamente liberando elétrons (ânodo ou eletrodo negativo), enquanto o material do outro eletrodo reduz-se usando esses elétrons (cátodo ou eletrodo positivo). O termo *bateria* deveria ser usado para se referir a um conjunto de pilhas agrupadas em série ou paralelo, dependendo da exigência por maior potencial ou corrente, respectivamente. Entretanto, no dia-a-dia, os termos *pilha* e

bateria têm sido usados indistintamente para descrever sistemas eletroquímicos fechados que armazenam energia. O termo *acumulador elétrico* também aparece muitas vezes, mas é empregado, quase sempre, como sinônimo de *bateria*.

A convenção mais usada para representar um sistema eletroquímico é aquela de escrever o anodo do lado esquerdo e o catodo do lado direito. Assim, quando se escreve *bateria sódio/enxofre* significa que o sódio e o enxofre são os reagentes ativos no anodo e catodo, respectivamente. Entretanto, alguns sistemas eletroquímicos não obedecem a esta regra geral quando citados; os casos mais comuns são os sistemas: *chumbo/óxido de chumbo*, *cadmio/óxido de níquel e zinco/dióxido de manganês*, mais conhecidos como *chumbo/ácido*, *níquel/ cádmio e Leclanché*, respectivamente. Além destes, outros sistemas eletroquímicos mais avançados e modernos também não seguem a regra mencionada.”

2.3.2 TIPOS DE BATERIAS

Os sistemas eletroquímicos são diferenciados pela maneira como funcionam, tirando algumas exceções, a maioria é classificada da seguinte maneira.

2.3.2.1 BATERIAS PRIMARIAS

Segundo Bocchi et al(2000) “Distintas das demais por serem essencialmente não recarregáveis. Exemplos: *zinco/dióxido de manganês* (Leclanché), *zinco/dióxido de manganês (alcalina)*, *zinco/óxido de prata*, *lítio/dióxido de enxofre*, *lítio/dióxido de manganês* etc.”

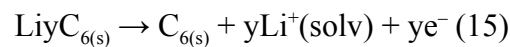
2.3.2.2 BATERIAS SECUNDARIAS

Bocchi (2000) descreve as baterias secundárias como as recarregáveis, sendo assim mais práticas para quem for usá-las. Bocchi conta que a bateria secundária é aquela que consegue resistir a 300 carregamentos completos de energia e descarregar com 80% de sua capacidade. Exemplos: *cadmio/óxido de níquel (níquel/cadmio)*, *chumbo/óxido de chumbo (chumbo/ácido)*, *hidreto metálico/ óxido de níquel*, *íons lítio* etc.

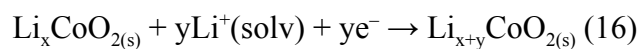
2.3.3 BATERIAS DE ÍONS LÍTIO

Aqui veremos as principais características da bateria que será utilizada no projeto.

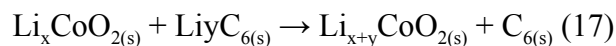
Segundo Bocchi et al (2000) “Assim denominada, porque usa, em vez de lítio metálico, apenas íons lítio, presentes no eletrólito na forma de sais de lítio dissolvidos em solventes não aquosos. Durante o processo de descarga, os íons lítio migram desde o interior do material que compõe o anodo até dentro do material do catodo e os elétrons movem-se através do circuito externo. Portanto, os materiais de eletrodos são formados geralmente por compostos de estrutura aberta (denominados compostos de intercalação), que permitem a entrada e saída de íons lítio. No anodo, o grafite é o material mais comumente usado porque, além de apresentar estrutura lamelar, é capaz de intercalar reversivelmente os íons lítio entre suas camadas de carbono sem alterar significativamente sua estrutura. O catodo contém, geralmente, um óxido de estrutura lamelar (LiCoO₂, LiNiO₂ etc.) ou espinel (LiMnO₂), sendo o óxido de cobalto litiado o material mais freqüentemente usado pelos fabricantes de baterias de íons lítio. Dessa forma, durante a descarga da bateria a reação que ocorre no anodo é a oxidação do carbono e a conseqüente liberação de íons lítio a fim de manter a eletroneutralidade do material:



No catodo, o cobalto se reduz na estrutura do óxido, provocando a entrada de íons lítio em sua estrutura:

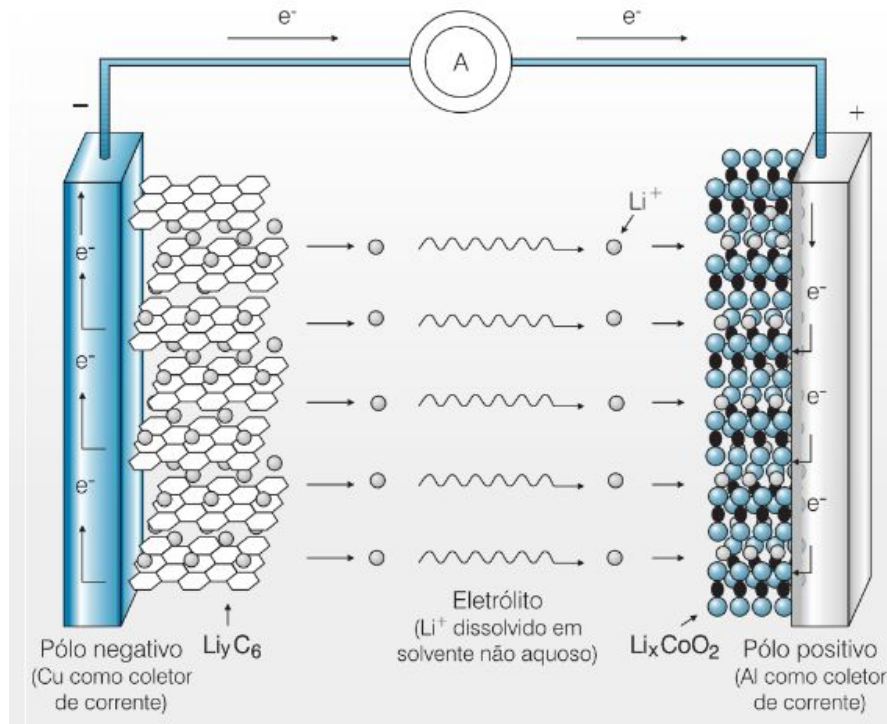


Conseqüentemente, a reação global de descarga é:



Sendo que um par de eletrodos fornece um potencial de circuito aberto no intervalo de 3,0 V a 3,5 V, a temperatura ambiente. As principais características das baterias de íons lítio são bom desempenho e segurança aos usuários. Além disso, o fato de empregarem materiais de baixa densidade permite que sejam projetadas para terem menor massa, tamanho e custo.”

Figura 4 - Processos químicos em uma bateria de lítio



Fonte: Bacchi et al(2000)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Aqui será demonstrado todo o caminho a ser percorrido no projeto, demonstrando a construção de um tapete piezoelétrico, sua aplicação e como será analisado se a aplicação do tapete teria um retorno positivo. Assim, o projeto foi dividido nas seguintes etapas.

3.1 ESCOLHA DO LOCAL DE APLICAÇÃO

Após realizar uma análise de lugares com grande movimentação de pessoas, foi pensado em aplicar o tapete piezoelétrico a entrada de um shopping. De acordo com Mais Fluxo (2018), o fluxo de pessoas em shoppings aumentou 1.5% em 2017, totalizando um total de 3,56 bilhões de visitas anuais, isto é, diariamente 10 milhões de pessoas circulam por shoppings de todo o país.

Utilizando o sistema piezoelétrico em entradas de shoppings pode-se obter uma quantia razoável de energia, revertendo-a para a iluminação do shopping pode-se causar uma economia de energia e causar um impacto ambiental positivo, pois trata-se de uma energia limpa.

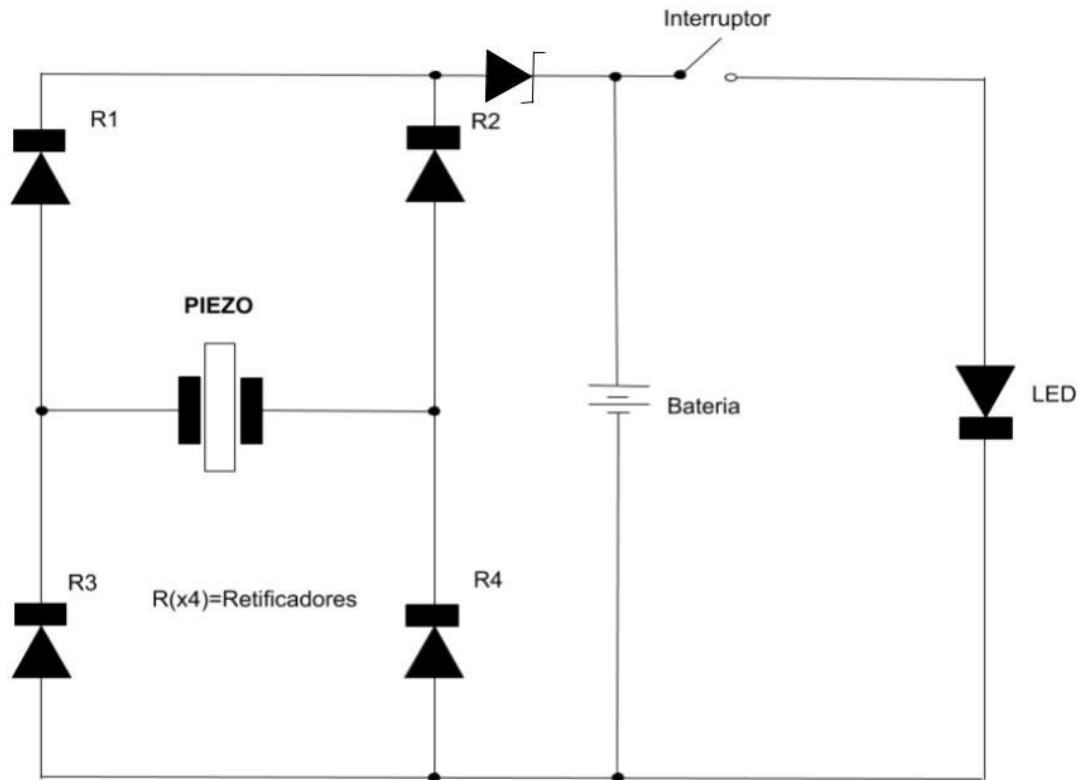
3.2 CIRCUITO PIEZO/BATERIA/LED'S

Para a elaboração do dispositivo, foram feitos os estudos bibliográficos sobre as pastilhas que seriam utilizadas e como citado nos materiais, foram escolhidos os sensores de Titanato Zirconato de Chumbo. Segundo Souza et al. (2018) “O Tapete de PZT é um mini gerador de energia elétrica, com capacidade de fornecer energia para qualquer aparelho de 5V e 1 mA.”. Assim sendo, serão utilizados 288 unidades piezoelétricas de 35mm, associadas em paralelo para formar um tapete de $8m^2$

Com base nessas afirmações, foram calculados que em um tapete de dimensões de 8 m², seria suficiente para produzir uma voltagem de 45,6V e uma amperagem de 0,912A.

Assim, após a energia ser produzida pela piezoeletricidade, ela será transferida para uma bateria de lítio associada em paralelo, por meio de cabos de cobre, e então direcionada para os led's intermediada por um interruptor, além disso, será utilizado retificadores para transformar a corrente alternada do sistema em corrente contínua e um diodo zener para estabelecer a corrente em 12v assim aumentando a corrente e deixando a tensão igual a da bateria utilizada, como demonstrado na figura abaixo.

Figura 5 - Circuito PIEZO/Bateria/LED



Fonte: Autoria própria

3.3 CONSTRUÇÃO DE UMA MAQUETE

Para realização de testes será construída uma maquete de um shopping com escala 1/50, onde será aplicado um tapete piezoelétrico, assim como o peso de uma pessoa. Uma pessoa com massa de 60kg tem um peso de aproximadamente 588N. (SILVA, 2019)

Por meio da maquete será analisado quanta energia elétrica poderá ser criada.

3.4 ANÁLISE DE CUSTOS

Nessa etapa será analisado o custo total para a aplicação do sistema, por meio de pesquisas de preços dos materiais necessários.

Primeiramente fazendo uma média dos melhores preços encontrados, do fluxo de pessoas em shoppings e utilizando dados de quanta energia elétrica tem sido consumida sem a aplicação do sistema, assim, escalando-os para o tamanho do protótipo e então utilizando os

resultados da maquete, será analisado quanta energia poderá ser produzida e em quanto tempo o investimento será recompensado.

O investimento necessário para a aplicação está representado na tabela abaixo.

Tabela 1 - Orçamento do aplicação

Material	Quantidade	Custo médio
Unidades Piezelétricas de 35mm	288	Aproximadamente R\$350,00
Bateria Íons lítio 12V 1.5Ah	1	R\$400,00
Retificadores	4	R\$100,00
Diodo zener	1	R\$20,00

Fonte - Autoria própria

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DE PROTÓTIPO

Com a utilização de uma maquete de um shopping com escala 1/50 e utilizando um tapete piezoelétrico em mesma escala, não foi possível obter resultados concretos sobre quanta energia elétrica pode ser gerada, pois os testes com multímetro se mostraram muito inconsistentes e com um protótipo muito pequeno a energia criada é quase nula, tornando o protótipo apenas um demonstrador do funcionamento de pastilhas piezoelétricas.

Para que se pudesse obter análises precisas, seria preciso testes em laboratórios com infraestrutura para realizar simulações precisas e obter resultados correspondentes para assim compará-los em escala real.

Além disso, tentamos conseguir um software simulador para realizar testes, porém não encontramos um que simulasse a ação de pastilhas piezoelétricas, e demonstrasse resultados de produção de energia do sistema.

4.2 COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DE FONTES BIBLIOGRÁFICAS

Realizando pesquisas bibliográficas, foi possível obter-se resultados que demonstram a viabilidade e benefícios da aplicação do protótipo.

4.2.1 DADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Como o tapete piezoelétrico de 288 unidades pode produzir até 45,6v e 0,912A, podemos calcular uma media da economia que o projeto pode oferecer.

Com base nessas afirmações, a partir do cálculo de potência podemos obter quantos kWh um tapete piezoelétrico pode gerar, então:

$$\begin{aligned}P &= U \times I \\P &= 45,6v \times 0.912A \\P &= 0.41W \\P &= 0,041 kW\end{aligned}$$

Sendo:

P= potencia

U= tensão eletrica

I= corrente eletrica

4.2.2 CONSUMO DE ENERGIA DE SHOPPINGS

O shopping VillageMall, na Barra, zona oeste do Rio, passara a ser totalmente abastecido com energia eletrica vindo de um parque solar fotovoltaico, instalado no norte de Minas Gerais[...]o parque solar possibilitará uma economia de mais de 40% na conta de luz, equivalente a 5,5 milhões de reais ao ano.(Estadão, 2018)

Utilizando o shopping VillageMall como base de cálculos, temos que o mesmo gasta aproximadamente 458 mil reais por mês, sabendo do horário e de dias de funcionamento do shopping, pode-se calcular quanto o mesmo consome de energia elétrica:

$$\begin{aligned}\text{Consumo anual em dinheiro} &= \text{consumo em kWh anual} \times \text{icms do estado} \\5500000 &= \text{Consumo kWh anual} \times \text{icms do estado} \\ \text{Consumo em kWh anual} &= \frac{5500000}{25\%} \\ \text{Consumo em kWh anual} &= 22000000 \text{ kWh} \\ \text{Consumo em kWh mensal} &= 1833333,33 \text{ kWh}\end{aligned}$$

4.2.3 ANÁLISE DE ECONOMIA

Com estes dados em mãos, podemos calcular quanto dinheiro mensal o protótipo pode economizar:

$$\begin{aligned} \text{Geração de energia tapete PZT} &= \text{Potencia do sistema} \times \text{horas} \times \text{dias} \\ \text{Geração de energia tapete PZT} &= 0,041 \text{ kW} \times 10 \times 30 \\ \text{Geração de energia tapete PZT} &= 12,3 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Subtraindo a energia criada pelo tapete piezoelétrico do consumo total de energia ao mês podemos obter a economia de energia que o sistema causará.

$$\begin{aligned} \text{Consumo com PZT aplicado} &= \text{consumo sem PZT} - \text{geração PZT} \\ \text{Consumo com PZT aplicado} &= 1833333,33 \text{ kWh} - 12,3 \text{ kWh} \\ \text{Consumo com PZT aplicado} &= 1833321,03 \text{ kWh} \\ \text{Consumo em dinheiro com tapete PZT} &= \text{Consumo com PZT aplicado} \times \text{icms do estado} \\ \text{Consumo em dinheiro com tapete PZT} &= 1833321,03 \times 25\% \\ \text{Consumo em dinheiro com tapete PZT} &= R\$458330,25 \end{aligned}$$

Agora, comparando os resultados sem a aplicação do sistema piezoelétrico com ela aplicada, pode ser observado uma economia de R\$3,00 ao mês.

Com o projeto custando aproximadamente R\$500,00 levaria em torno de 13 anos para o projeto cobrir seu próprio custo.

5. CRONOGRAMA

Tabela 2 - Cronograma de projeto

TEMAS A SEREM REALIZADOS	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Entrega ao CRC			X							
Análise de resultados					X					
Conclusão							X			
Apresentação a banca							X			

Fonte - Autoria própria

6. CONCLUSÃO

A piezoelectricidade é uma tecnologia ainda em desenvolvimento, com muito ainda a ser aprimorado, sua baixa produção de energia a torna uma área pouco estudada, assim dificultando sua evolução, porém, sua aplicação é relativamente fácil e pode ser usada vastamente em projetos mais simples, podendo ser aplicada em praticamente em qualquer lugar que emita vibrações constantes, todavia sua aplicação em larga escala ainda não traz resultados significativos.

Então, através do protótipo e de pesquisas, o grupo pode concluir que a pesquisa não obteve os resultados esperados, com a geração de energia sendo muito abaixo do esperado, mas respondendo o problema de pesquisa inicial.

REFERÊNCIAS

PERLINGEIRO, Antônio Ramos, PIMENTA, Gilberto Maia, SILVA, Salviano Evaristo da. **GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS**. Disponível em: encurtador.com.br/gAPT6. Acesso em: 17 jul. 2019.

GOMES, Daniel Sampaio, LANDIM, Gustavo José Gomes C. **CONSTRUÇÃO DE TAPETE PIEZOELÉTRICO**. Disponível em: https://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/exatas_e_engenharia/article/download/1027/780. Acesso em: 17 jul. 2019.

ANTUNES, Evelise de Godoy, SOUZA, Máira Nunes, SCHERTEL, Marina Neubauer da Costa. **PISO QUE TRANSFORMA ENERGIA MECÂNICA EM ELETRICIDADE**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/projenergia3/projetos/trabalhos-2014/trabalhos-2014-2/GRUPOH.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2019.

FERNANDES, Viviane et al. **CRISTAIS PIEZOELÉTRICOS**. Disponível em: <http://engenheirodemateriais.com.br/2016/03/09/cristais-piezoelétricos/>. Acesso em: 10 abr. 2019.

PEREIRA, Priscila et al. **EFEITO PIEZOELÉTRICO**. Disponível em: <https://prezi.com/uxblnkeiejdc/materiais-piezoelétricos/>. Acesso em: 11 abr. 2019.

SANTANA, Lucas et al. **ENERGIA SOLAR E EÓLICA: PREÇO, DIFERENÇA E MELHORES LOCAIS**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-e-eolica/>. Acesso em: 11 abr. 2019.

VILARINHO, Leonardo, MARINHO, Adielson Rafael, ASSUNÇÃO, João Henrique, ALBUQUERQUE, Priscila, SILVA, Torben Ulisses. **MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS**. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/LeonardoVilarinho/materiais-piezoelétrico>. Acesso em: 15 abr. 2019.

BOCCHI, Nerilson, FERRACIN, Luiz Carlos, BIAGGIO, Sonia Regina. **PILHAS E BATERIAS: FUNCIONAMENTO E IMPACTO AMBIENTAL**. Disponível em: http://qnint.sbq.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=45&semFrame=1. Acesso em: 16 jul. 2019.

SILVA, Marcos Noé Pedro da. **PESO X MASSA**. Disponível em: encurtador.com.br/IRWY9
Acesso em 28 de junho de 2019.

ALMEIDA, Luiz Ricardo Vieira. **GERAÇÃO DE ENERGIA: APLICAÇÃO DE MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS**. Disponível em:
<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/geracao-de-energia>. Acesso em 05 de abril de 2019.