

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

LARISSA PEREIRA DA SILVA

**ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR TAPETE
PIEZOELETRICO EM MÚLTIPLAS CAMADAS**

CARATINGA

2019

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

LARISSA PEREIRA DA SILVA

**ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR TAPETE
PIEZOELETRICO EM MÚLTIPLAS CAMADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Geração de Energia.

Professor Orientador: MSc. Robson da Silva.

CARATINGA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO COM RESTRIÇÃO

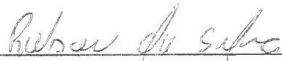
LARISSA PEREIRA DA SILVA

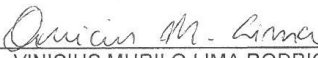
A aprovação do(s) aluno(s) fica condicionada à apresentação ao professor orientador, das alterações solicitadas pelos avaliadores através das versões corrigidas que passam a fazer parte deste termo, ou as elencadas ao final do mesmo.


As alterações devem ser apresentadas em versão definitiva no prazo de três dias corridos a contar dessa data, conforme o disposto nas Normas de TCC da Instituição.

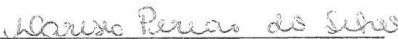
A aprovação final fica condicionada ao parecer favorável emitido pelo professor orientador.

Caratinga, 04/12/2019


ROBSON DA SILVA
Professor Orientador e Presidente da Banca


VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES
Professor Avaliador 1


GUILHERME CASSIMIRO BORGES
Professor Avaliador 2


LARISSA PEREIRA DA SILVA

Aluno(s)

CORREÇÕES A SEREM FEITAS E PARECER FINAL
ALTERAÇÕES NECESSÁRIAS APONTADAS PELA BANCA:

PARECER FINAL DO ORIENTADOR:

DATA: 04/12/2019

Assinatura do Professor Orientador:

Á Deus por todos os milagres e oportunidades da vida.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder sabedoria, inteligência e por possibilitar de chegar a esse momento. Aos familiares que sempre me deram o apoio, minha filha Manuella da Silva Araújo, que è a razão de todo meus esforços.

Agradeço a minha mãe Monica Lopes e meu pai Ademilson que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e e sempre estiveram ao meu lado.

Obrigada meus irmãos, á meu esposo, pelo apoio e paciência durante todo o período desse trabalho. Pela ajuda e incentivos, mesmo quando os estudos apertavam muito.

Em especial quero agradecer ao Prof. Robson da Silva pela orientação deste trabalho, pela extrema disposição, pela paciência e pelos ensinamentos que irei levar pelo resto de minha vida.

Aos meus padrinhos, vizinhos, parentes e amigos que me apoiaram e incentivaram no decorrer de mais esta etapa.

“Melhor chegar em último e dizer que tentou, do que parar e dizer que não deu”.

(Tiago Augusto Da Cunha)

SILVA, Larissa Pereira da. **ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR TAPETES PIEZOELÉTRICOS EM MULTICAMADAS** Caratinga, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2019.

RESUMO

A piezoeletricidade é uma forma de geração de energia, que se baseia na obtenção de energia através da diferença de potencial elétrico a partir da deformação de materiais específicos. Ao sofrerem deformação, esses materiais geram uma tensão elétrica por resposta a uma pressão mecânica. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar a possibilidade de gerar energia a partir do uso de pastilhas piezoelétrica. Analisando um sistema de geração em forma de tapete montado em múltiplas camadas.

Palavras chaves: Piezoeletricidade. Geração. Sistema. Energia elétrica.

SILVA, Larissa Pereira da. **ESTIMATIVA GERAÇÃO DE ENERGIA POR TAPETES PIEZOELÉTRICOS EM MULTICAMADAS** Caratinga, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2019.

ABSTRACT

Piezoelectricity is a form of energy generation, which is based on obtaining energy through the difference in electrical potential from the deformation of specific materials. When deformed, these materials generate an electrical stress in response to a mechanical pressure. In this context, this paper aims to analyze the possibility of generating energy from the use of piezoelectric inserts. Analyzing a multi-layer carpet generation system.

Key-words: Piezoelectricity. Generation. System. Electricity

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Gráfico matriz energética	15
Figura 2 - Representação esquemática da conversão de energia no efeito piezoelétrico	1616
Figura 3- Classificação do grupo dielétrico	1717
Figura 4- Ilustração de uma rede cúbica simples, uma base composta por um único átomo e a estrutura cristalina	1717
Figura 5- Efeito Piezoelétrico	1919
Figura 6- Partícula Piezoelétrica	2020
Figura 7- Transdutor Piezoelétrico	2121
Figura 8 - Circuito gerador simples	23
Figura 9 - Circuito gerador duplo.....	2424
Figura 10- Circuito Gerador duplo	25
Figura 11- Plataforma de madeira.....	26
Figura 12- Deformação do Gerador Piezoelétrico	26
Figura 13- Discos conversores fixados sobre a grade da plataforma.....	2727
Figura 14- Segunda camada de discos conversores	27
Figura 15- Sistema conversor em múltiplas camadas.....	28
Figura 16- Proposta de circuito gerador em múltiplas camadas.....	3535

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Calibração do circuito gerador simples	30
Tabela 2- Calibração circuito gerador duplo em serie	31
Tabela 3- Calibração circuito gerador duplo em paralelo	31
Tabela 4- Calibração circuito gerador em multiplas camadas	33
Tabela 5- Estimativa de material necessário para a confecção da estrutura geradora	34
Tabela 6- Estimativa de geração em série por impacto	36

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

PTZ- Pastilhas piezoelétricas

N - Newton

G - Grama, unidade de medida para grandeza massa

Kg - Quilograma, unidade para a grandeza massa

P - Potência Elétrica

R - Resistência, normalmente medida em ohms (Ω)

t - Tempo, normalmente dado em segundos

V - Voltagem, normalmente medido em Volts (V)

μ V - Micro Volts , unidade de medida de diferença de potencial

μ W - Micro watts , unidade de medida de potencia

cm - Unidade de comprimento no sistema métrico

m - Unidade de comprimento no sistema métrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Matriz energética	15
2.2 História da piezoeletricidade	16
2.3 Cristais peizoeletricos	16
2.4 Conversão por piezoeletricidade	18
2.5 Componentes	19
<i>2.5.1 Transdutor piezoelétrico</i>	19
<i>2.5. Equação de potência</i>	22
3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS	23
3.1 Calibração do sistema conversor de energia	23
<i>3.1.1 Circuito gerador simples</i>	23
<i>3.1.2 Circuito gerador duplo</i>	24
3.2 Montagem do sistema em múltiplas camadas	25
<i>3.2.1 Montagem do conversor de energia</i>	26
3.3 Conversão de energia em multiplas camadas	28
3.4 Estimativa de geração	28
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
4.1 Resultados da calibração do circuito simples gerador duplo	30
4.2 Conversão de energia em múltiplas camadas	32
4.3 Estimativa	34
<i>4.3.1 Estimativa de geração</i>	34
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	37
6 REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é uma das formas de energia mais utilizadas pela humanidade no século XXI. Desde a descoberta da eletricidade pelo filósofo grego Tales de Mileto e os estudos Otto von Guericke no século XVII, muito foi estudado e descoberto sobre suas propriedades e aos meios de obtenção. Hoje sabemos que, qualquer forma de energia pode ser convertida em energia elétrica.

Atualmente, a sociedade do século XXI, se tornou extremamente dependente dos confortos proporcionados pela utilização da energia elétrica, o que acarreta elevado desequilíbrio entre o consumo e os meios de produção.

Uma solução prática para esse problema reside no aumento da capacidade de conversão da matriz energética. Porém tal prática traz consigo fortes impactos ambientais, visto que a maior parte da matriz energética mundial é proveniente de fontes não renováveis de energia. Sobre essa perspectiva Governo, sociedade e o meio acadêmico têm somado forças com o intuito de diminuir os impactos provenientes os meios tradicionais de conversão de energia. Até onde se sabe, nunca antes na história, se investiu tanto em pesquisa de meios e processos de conversão de energia limpa e renovável. Conversão de energia por usinas eólicas e painéis solares, são consequência do esforço coletivo em prol da diminuição e até erradicação dos impactos associados a processos mais tradicionais das formas de conversão de energia.

Pensando em diminuir os impactos gerados a partir dos processos de conversão de energia e contribuir para diminuir a amplitude entre demanda e meios de conversão de energia. Esse trabalho tem como objetivo analisar a possibilidade de gerar energia a partir do uso de pastilhas piezoelétrica. Analisando um sistema de geração em forma de tapete montado em múltiplas camadas.

Os procedimentos adotados para criar a estimativa de geração, bem como os protocolos desenvolvidos para realização desse trabalho foram divididos em cinco capítulos:

Capítulo um introdução:

Nesse capítulo é descrito a parte introdutória do projeto onde se mostra uma visão geral sobre o assunto tratado, problema a ser solucionado e os objetivos.

Capítulo dois Referencial teórico:

Esse tópico relaciona todo material teórico que serviu como base para o desenvolvimento do trabalho.

Capítulo três procedimento metodológico:

Aqui é descrito detalhadamente a sequência e os protocolos utilizados na realização da coleta de dados, confecção da placa

Capítulo quatro Apresentação e discussão dos resultados:

O capítulo quatro abordará o estudo dos resultados obtidos através das coletas de dados e confecção da plataforma geradora.

Capítulo cinco Conclusão:

Esse tópico é descrito as principais conclusões obtidas no decorrer deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para facilitar o entendimento deste trabalho, se faz necessário uma revisão dos aspectos gerais de geração de energia, além de falar sobre os conceitos de conversão da piezoelétricidade.

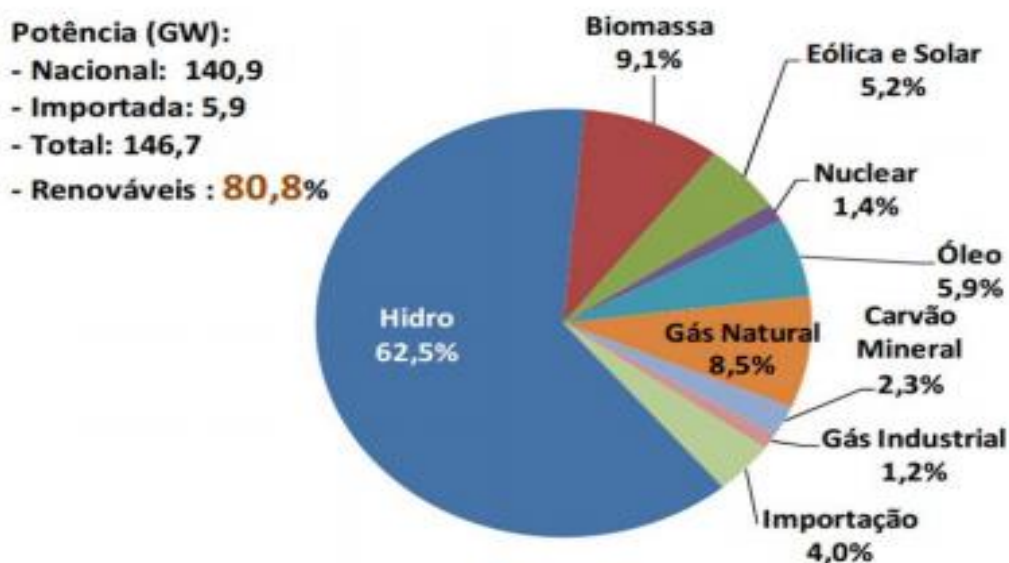
2.1 Matriz energética

A definição de matriz energética consiste em toda fonte energética disponível para ser transformada, distribuída ou consumida pelo país, retrata a quantidade da oferta de energia, ou seja, o montante de recursos energéticos ofertados por um país ou por uma região (SIGNIFICADOS, 2011).

2.1.1 Matriz energética Brasileira

A figura 01 apresenta a matriz de oferta de potência de energia elétrica. “Observa-se a preponderância da matriz hidráulica, com 66,5% de atuação, incluindo a importação. A participação das fontes renováveis encontra-se próxima de 81%, índice muito superior ao mundial, de 21%” (RDIGUES, 2016).

Figura 1- Gráfico matriz energética



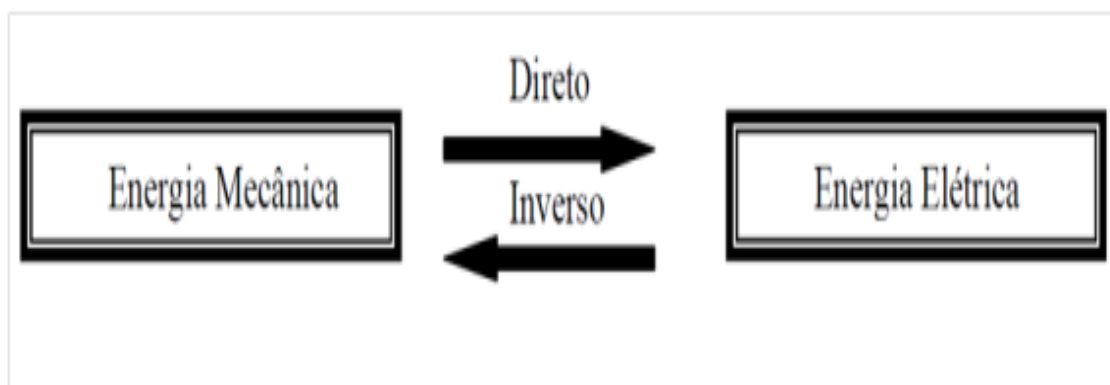
Fonte:Ministério de minas e energia (2019).

2.2. História da piezoelectricidade

O termo piezo vem do grego “piezein” que significa pressão ou pressionar. Piezoelectricidade é a capacidade que alguns dielétricos têm de transformar tensões mecânicas em cargas elétricas, este é o efeito direto, podendo também realizar o efeito inverso onde são transformadas as cargas elétricas em deformações mecânicas (CALLISTER, 2006).

A figura 02 faz uma representação esquemática da conversão de energia no efeito piezoelectrico.

Figura 2- Representação esquemática da conversão de energia no efeito piezoelectrico



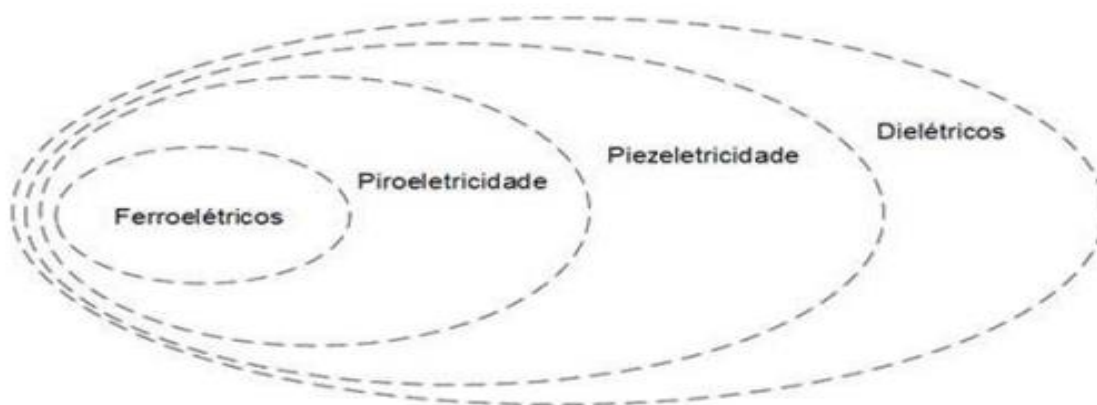
Fonte: Eiras (2004).

Os pioneiros dessa descoberta foram os irmãos Jacques e Pierre Currie que em 1880 provaram de forma prática a formação de um potencial elétrico na superfície dos Cristais de prova ao se aplicar uma tensão mecânica sobre eles, baseando-se em experimentos com os cristais de quartzo, conhecido como sal de Rochelle. No ano de 1881 a piezoelectricidade inversa foi provada matematicamente por Lippmann (KATZIR, 2003).

2.3 Cristais Piezoelectricos

“Os cristais piezoelectricos se encontram no grupo dos dielétricos como ilustrado na figura 07 abaixo, no qual também é salientada a presença de duas propriedades destes materiais, Ferroelétrico e Piroelétrico” (RDRIGUES, 2016).

Figura 3- Classificação do grupo dielétrico



Fonte: Eiras (2004).

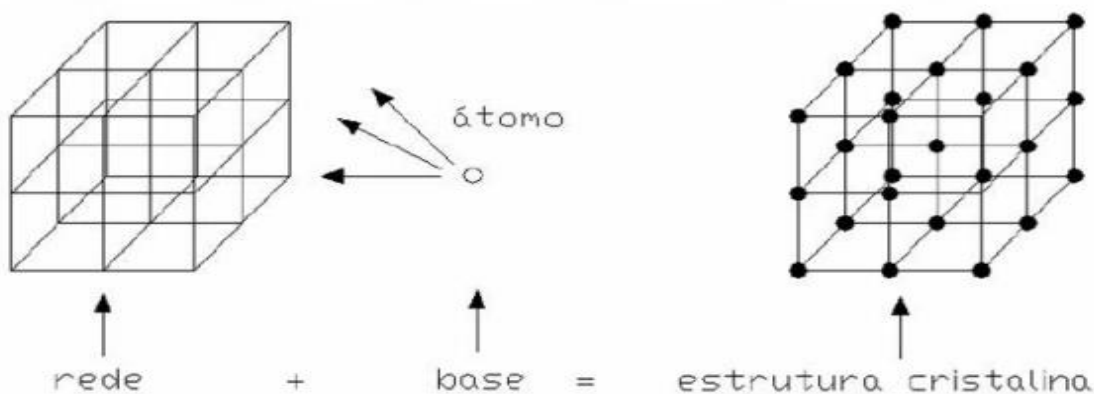
De acordo com Callister (2006), os materiais ferroelétricos possuem o efeito piezoelétricos, por possuírem esta propriedade podem ser utilizados em aplicações que necessitam do funcionamento piezelétrico, tal como sensores e atuadores, sendo eles pertencente à classe dos materiais inteligentes.

“O parâmetro necessário para um material possuir propriedade piezoelétrica é a assimetria das cargas elétrica em cada célula unitária, isso possibilita a formação de um forte dipolo entre íons” (CALLISTER, 2006).

A cristalografia baseia-se nas características da célula unitária do cristal em função de um ponto, eixo e plano ou combinação desses (LICCARDO, 2007, p.13).

Os materiais cristalinos possuem estruturas de forma ordenada, no qual há um padrão de repetições sendo igual em qualquer ponto.

Figura 4- Ilustração de uma rede cúbica simples, uma base composta por um único átomo e a estrutura cristalina



Fonte: Liccardo (2007)

Deve-se destacar a diferença no conceito de “Rede” e “Estrutura cristalina”.

De acordo com as definições apresentadas, não se deve confundir os conceitos de cristal e de rede cristalina. Ao passo que rede cristalina é uma abstração matemática que consiste num conjunto de pontos idênticos dispostos regular e periodicamente no espaço, o cristal é formado por um conjunto de átomos que podem nem sempre ser todos da mesma espécie química. A estrutura do cristal pode ser gerada sobrepondo a cada ponto da rede cristalina uma base (ou motivo) de átomos, idêntica para todos os pontos da rede. Assim, a relação entre cristal, rede cristalina e motivo pode ser simbolizada como rede + base = cristal (TILLEY, 2014, p. 54)

Os cristais são subdivididos em 32 grupos cristalográficos, dos quais 21 não possuem centro de simetria (Condição para haver piezoelectricidade), e deste grupo de 21 cristais assimétricos 20 são piezoelétricos (TILLEY, 2014, p. 54).

Como mencionado certos cristais encontrados na natureza tal como o quartzo, sais de Rochelle, turmalina, tartrato de sódio e de potássio possuem as propriedades piezoelétricas, e também alguns materiais que podem se tornar cristais com as mesmas características piezoelétricas quando submetido á um trabalho de preparo como à cana de açúcar e escamas de peixes entre outros (Harvey, 2002).

Um dos primeiros materiais piezoelétricos a ser utilizado foi o cristal de quartzo por sua abundância e facilidade de obtê-lo na natureza, porem com grandes limitações devidas á necessidade de geradores de alta tensão para excita-los. (CHENG, 1987 apud RDRIGUES, 2016).

2.4 Conversão por piezoelectricidade

Segundo Farias e Sallum (2013), a conversão piezoelétrica ocorre de maneira simples: a disposição eletrônica de alguns metais é tal que o centro de simetria das cargas elétricas positivas não coincide com o centro de simetria das cargas negativas. Isso faz com que haja um dipolo elétrico, que quando deformado na presença de um campo elétrico, gera uma corrente elétrica, podendo também ocorrer o inverso.

2.5 Componentes

2.5.1 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).

Figura 5- Efeito Piezoelétrico



Fonte:Luiz (2015)

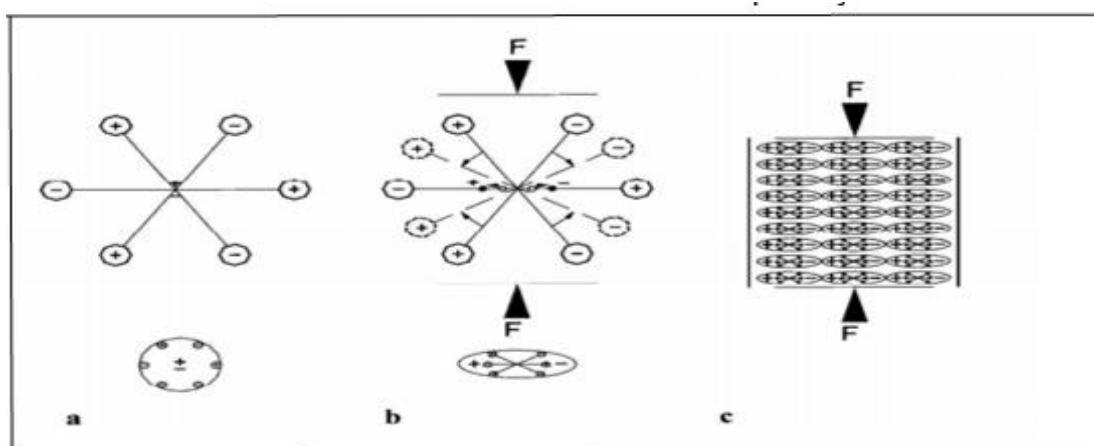
Posteriormente é descoberto o efeito da piezoeletrecidade inversa, que é definido como a deformação de matérias piezoelétricos, como cerâmica e cristais, quando expostos a potência ou campo elétrico. Entretanto o efeito inverso não segue a mesma proporção da piezoeletrecidade direta, sendo necessária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

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

A figura 06 ilustra o comportamento de uma partícula piezoelétrica quando submetida a uma força mecânica.

Figura 6- Partícula piezoelétrica



Fonte: Luiz (2015)

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 (LUIZ, 2015).

Segundo Rdrigues (2016), existem diferentes tipos de transdutores piezoelétricos, com facilidade de adquirir no mercado são as cerâmicas PZT (Titanato Zirconato de Chumbo). que são classificadas em cinco grupos.

Estes são alguns dos modelos com características aplicáveis como geradores de energia elétrica:

PZT-2 pode-se utilizar apenas em projetos que aceite baixo valor da constante dielétrica, pois é inferior em quase todos os fatores em relação as cerâmicas PZT-4 e PZT-5A.

PZT-4 é apropriado como transdutores acústicos de alta potência, devido a sua alta resistência a despolarização e baixas perdas dielétricas quando sujeito a altas tensões. Também podendo ser utilizados em "sistemas de geração de energia elétrica" devido a sua elevada resistência à despolarização quando submetido estresse mecânico.

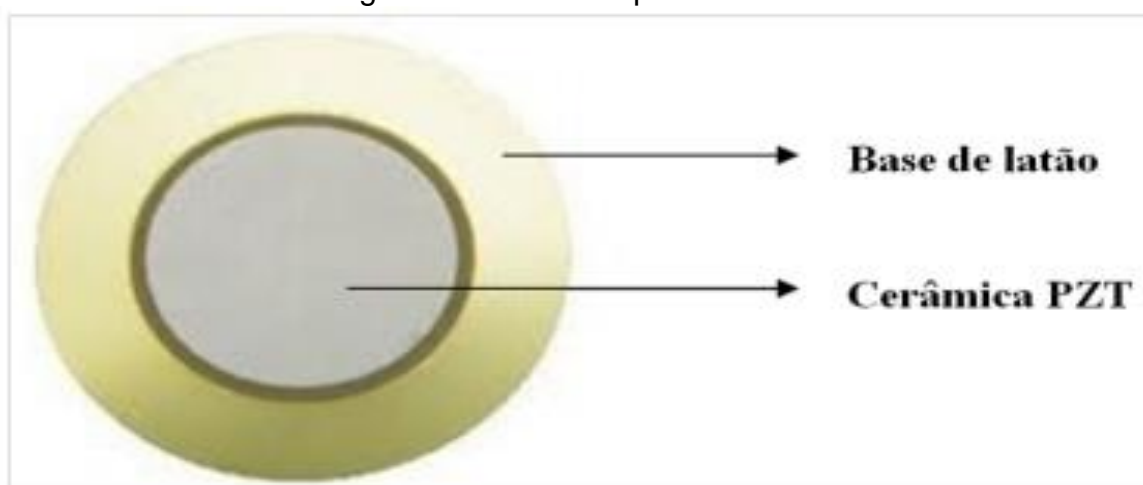
PZT-5A é indicado para hidrofones ou instrumentação pelo fato de possuir elevada resistividade quando sujeito a altas temperaturas e possuir alta sensibilidade e alto tempo de estabilidade.

PZT-5H possui uma sensibilidade que supera a cerâmica PZT-5A e é, semelhante à PZT-5A na maioria dos outros parâmetros. Diferencia-se grandemente dos demais modelos apresentados devido ao seu baixo ponto de Curie, que limita a variação de temperatura aceitável para trabalho, acarretando uma diminuição de seu uso.

PZT-8 se assemelha ao PZT-4, porém com maiores perdas dielétricas e mecânicas quando submetido a trabalhar em alta tensão.

O modelo utilizado no trabalho foi a PZT-4, apresentado na figura .

Figura 7- Transdutor piezoelétrico



Fonte: Rdrigues (2016)

2.5.2 Equação de potência

“Potência elétrica é definida como a rapidez com que um trabalho é realizado, ou seja, é a medida do trabalho realizado por uma unidade de tempo” (TODA MATERIA, 2019).

“A unidade de potência no sistema internacional de medidas é o watt (W), em homenagem ao matemático e engenheiro James Watts que aprimorou a máquina à vapor” (TODA MATERIA, 2019).

No caso dos equipamentos elétricos, a potência indica a quantidade de energia elétrica que foi transformada em outro tipo de energia por unidade de tempo. No qual pode ser representada pela seguinte fórmula .

$$E = P \cdot \Delta t \quad (01)$$

Onde a abreviatura E representa a energia ,P representa a potência, Δt representa unidade de tempo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo será apresentado a sequência de montagem de um sistema de conversão de energia elétrica, utilizando pastilhas piezoelétricas montadas em múltiplas camadas.

O protocolo experimental adotado nesse trabalho foi dividido em quatro partes: Parte uma calibração do sistema conversor de energia, parte dois montagem do sistema de múltiplas camadas, parte três teste de conversão de energia e parte quarto estimativa de geração.

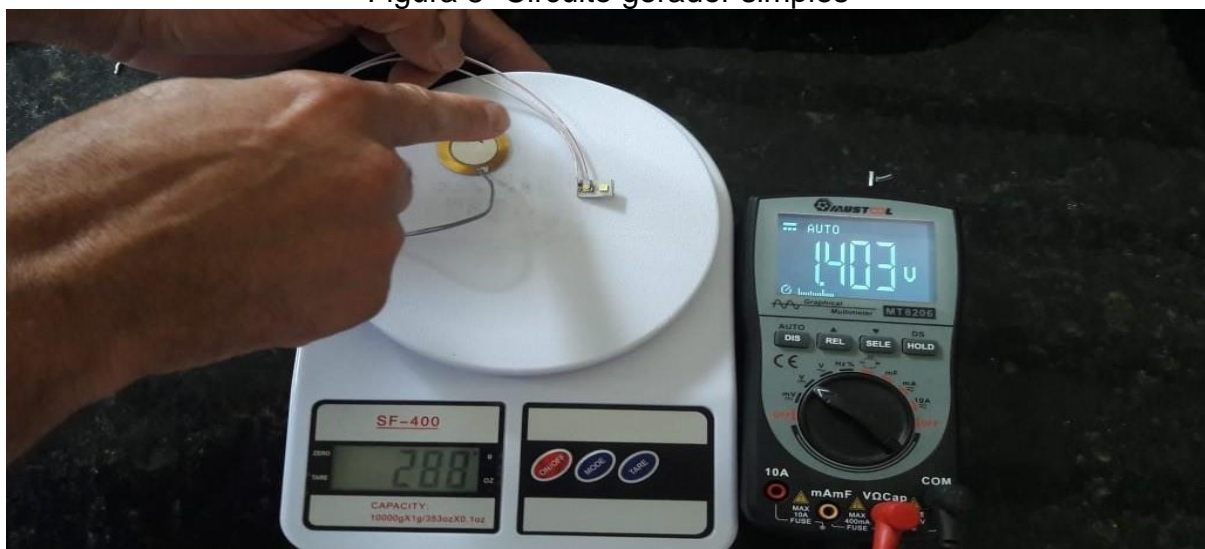
3.1 Calibração do sistema conversor de energia

O procedimento de calibração foi realizado em duas etapas: Etapa uma montagem de circuito gerador simples e etapa dois montagem de um circuito gerador duplo.

3.1.1 Circuito gerador simples

A primeira etapa consiste na montagem de um circuito elétrico conversor simples, contendo uma pastilha piezoelétrica conectada a um diodo led de alta intensidade. Como mostra na figura 08.

Figura 8- Circuito gerador simples



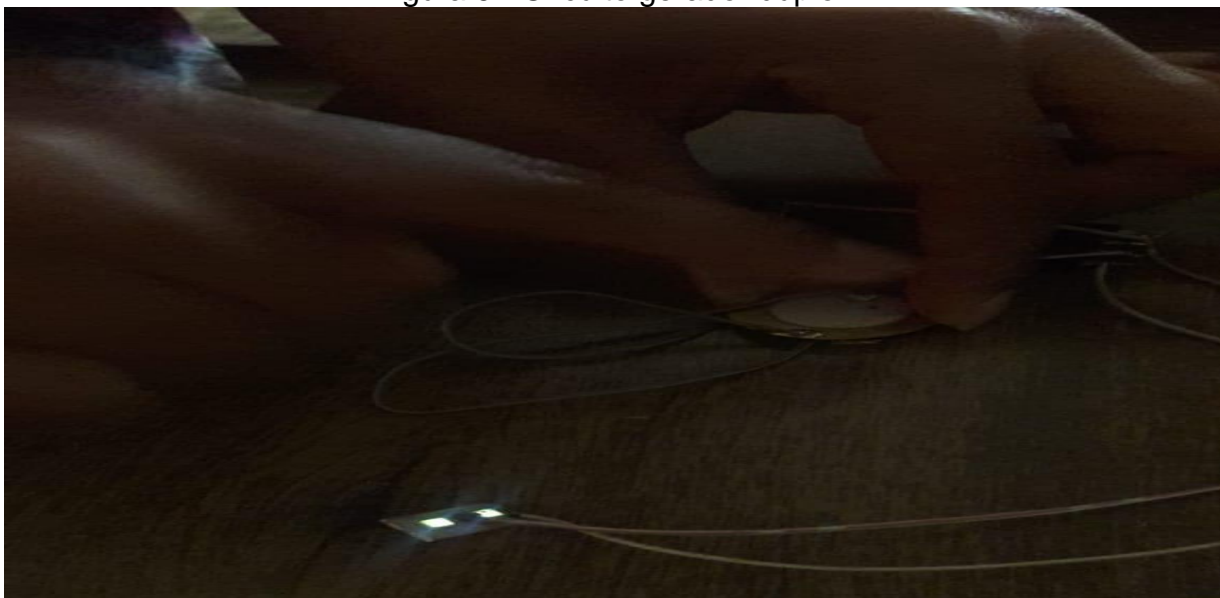
Fonte: Próprio autor (2019)

Paralelo aos terminais de saída da pastilha piezoelétrica, foi acoplado um voltímetro para monitorar a tensão gerada a cada acionamento da pastilha. Para monitorar a corrente um amperímetro foi adicionado em serie no circuito.

3.1.2 Circuito gerador duplo

O circuito gerador duplo foi confeccionado adicionando uma segunda pastilha piezoelétrica, montada sobre a pastilha piezoelétrica do circuito gerador simples. Separada por um isolador de borracha como mostra a figura 09.

Figura 9 - Circuito gerador duplo



Fonte: Próprio autor (2019)

Para melhor aproveitamento dos pulsos produzidos pela conversão de energia, uma ponte retificadora foi acoplada à saída do gerador piezoelétrico (figura10).

Figura 10 - Circuito Gerador duplo



Fonte: Próprio autor (2019)

A avaliação de tensão e corrente da associação de conversores foi primeiramente testada em ligação em série e posteriormente em paralelo. O sistema de aferição, ainda conta com uma balança de precisão, a qual foi utilizada para medir a carga aplicada sobre cada modelo de conversor. O tempo de contado carga conversor foi cronometrado utilizando um crômetro digital.

3.2 Montagem do sistema em múltiplas camadas

O sistema de conversão de energia em múltiplas camadas é composto de:

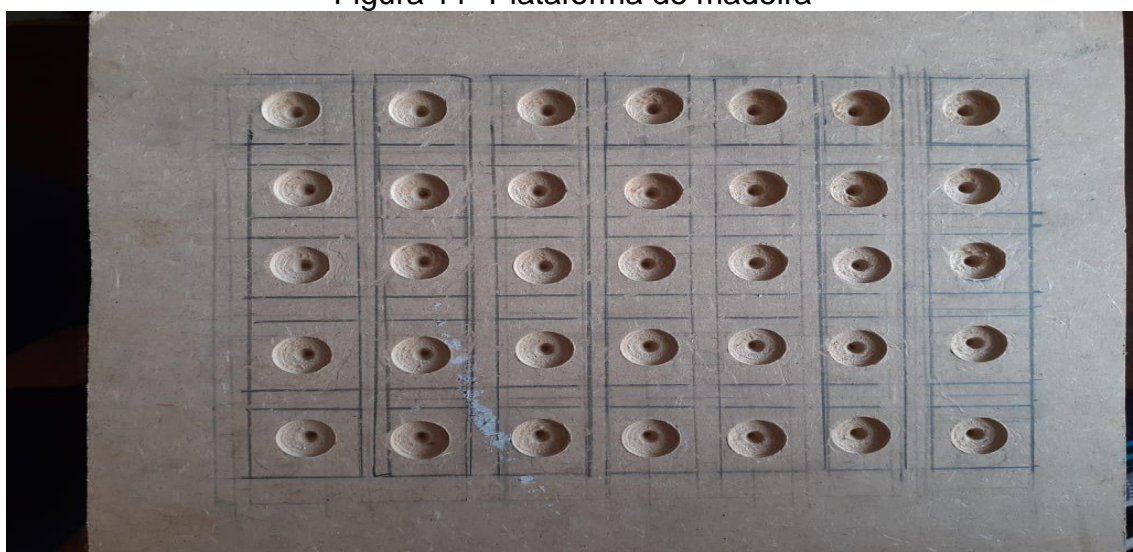
- a) Uma plataforma de madeira, com 30 centímetros de comprimento e 26 centímetros de largura.
- b) 48 patilhas piezoelétrica.
- c) 48 orings de borracha.
- d) 2,5 metros de condutores de 0,2mm.
- e) 1 ponte retificadora.

3.2.1 Montagem do conversor de energia

Segundo (Luiz 2015), a conversão de energia pode ser potencializada, se as pastilhas piezoelétrica forem montadas sobre uma superfície, que permita maior deflexão do componente conversor.

Sob essa perspectiva, iniciamos o procedimento de montagem. Começando com a divisão e perfuração da plataforma que iria abarcar as pastilhas conversoras, conforme mostrado na figura 11.

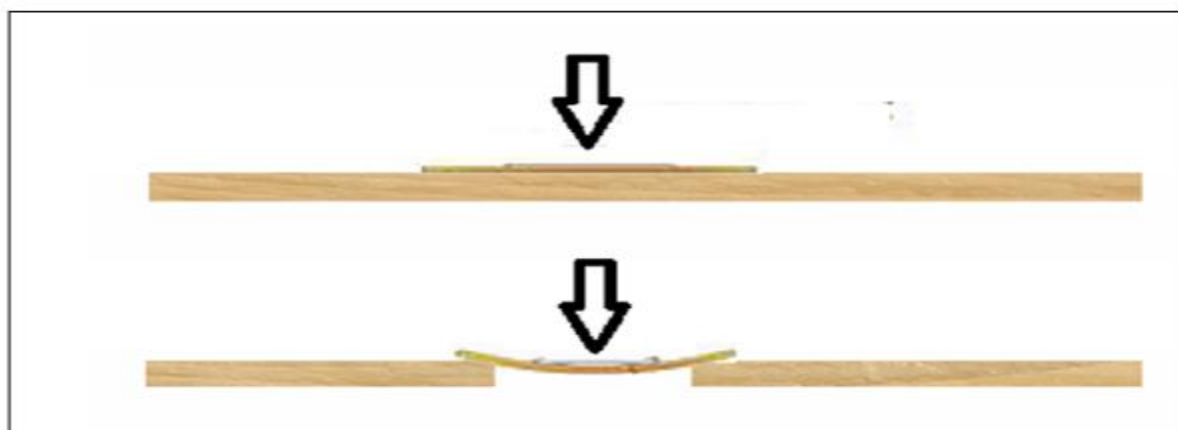
Figura 11- Plataforma de madeira



Fonte: Próprio autor (2019)

É necessário salientar que o diâmetro de cada perfuração não ultrapasse dez milímetros e dois milímetros de profundidade (figura 12).

Figura 12- Deformação do gerador piezoelétrico



Fonte: Luiz (2015)

Na sequência os discos conversores, foram fixados sobre a grade da plataforma e conectados, primeiro ligados em série e posteriormente ligados em paralelo. Figura 13.

Figura 13- Discos conversores fixados sobre a grade da plataforma



Fonte: Próprio autor (2019)

Uma segunda camada de discos conversores, sobrepostos e separados por um isolador de borracha, foi adicionado ao sistema formando um tapete de múltiplas camadas. O sistema de ligação entre as camadas seguiu o procedimento relatado para a camada um. Uma ponte retificadora foi acoplada à saída do sistema gerador. O sistema montado em uma configuração serie é mostrado na figura 14.

Figura 14 2- Segunda camada de discos conversores



Fonte: Próprio autor (2019)

3.3 Conversão de energia em múltiplas camadas

O protocolo de teste consiste em medir a resposta do sistema conversor primeiro em relação ao tempo de contato e deformação, seguido da resposta em relação à massa aplicada. Com o intuito de facilitar e padronizar a coleta de dados a área acionada em cada teste permaneceu fixa e igual a 180 cm². Figura 15.

Figura 15 - Sistema conversor em múltiplas camadas



Fonte: Próprio autor (2019)

O primeiro teste ocorreu com o sistema conversor ligado totalmente em série e posteriormente com o sistema ligado em paralelo.

3.4 Estimativa de geração

Como não foi possível a construção do tapete gerador em múltiplas camadas. A estimativa de geração, foi realizada de forma indireta e com base nas dimensões da plataforma descrita na seção 3.2 e nos resultados da seção 3.3, juntamente com o monitoramento do fluxo de estudantes, que entram e saem na recepção da faculdade Doctum unidade de Caratinga. Levando em consideração a dimensão de comprimento do corredor/escadaria que direciona até o saguão do edifício Doctum em Caratinga. Para melhor aproveitamento da energia piezoelétrica, foi estipulado

que seria necessário a construção de dois tapetes de dimensões 1,6 metros de largura e 1,1 metros de comprimento.

Os resultados obtidos na calibração, conversão em múltiplas camada, bem como da estimativa de material necessário para a construção do sistema conversor e da expectativa de geração são apresentados no capítulo quatro.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os principais resultados obtidos com a plataforma geradora utilizando os protocolos descritos no capítulo 3.

4.1 Resultados da calibração do circuito simples gerador duplo

A tabela 1 apresenta os resultados de tensão e corrente correlacionados a carga aplicada, levando em consideração o tempo médio de contato de 0,5 segundos na deformação da pastilha conversora para circuito simples.

Tabela 1- Calibração do circuito gerador simples

Carga (kg)	Tensão (V)	Corrente (μA)	Potencia(μW)
200g	1,16	14,9	17,2
288 g	1,4	17,8	24,9
600 g	1,45	18,4	26,6
1 kg	1,49	18,6	27,7
1,3 kg	1,56	19,9	31,0
2,5 kg	1,78	22,5	40,0
3 kg	1,96	24,8	48,6

Fonte: Próprio autor (2019)

Como pode ser observado não existe uma correlação linear entre o pico de tensão produzido em função da massa aplicada.

A tabela 2 apresenta os resultados de tensão e corrente correlacionados a carga aplicada, para circuito duplo em série.

Tabela 2 - Calibração circuito gerador duplo em serie

Carga (kg)	Tensão (V)	Corrente (μA)	Potencia(μW)
200g	1,14	14,4	16,4
288 g	1,45	17,7	25,6
600 g	1,56	19,8	30,8
1 kg	1,61	20,0	32,2
1,3 kg	1,58	20,4	32,3
2,5 kg	1,88	22,6	42,4
3 kg	1,99	24,9	49,5

Fonte: Próprio autor (2019)

A tabela 3 apresenta os resultados de tensão e corrente correlacionados à carga aplicada, para um circuito duplo paralelo.

Tabela 3 - Calibração circuito gerador duplo em paralelo

Carga (kg)	Tensão (V)	Corrente (μA)	Potencia(μW)
200 g	1,17	14,6	17,0
600 g	1,39	17,3	28,6
676 g	1,65	20,6	33,9
1 kg	1,68	21,0	35,2
1,3kg	1,65	21,6	35,6
2,5 kg	1,81	22,6	40,9
3kg	2,05	25,6	52,4

Fonte: Próprio autor (2019)

Como pode ser observado, comparando os resultados das tabelas 2 e 3, os valores de tensão e corrente apresentados nos dois circuitos não apresentam diferenças significativas, relacionados com os mesmos valores de massa aplicados. Porém foi possível notar que o tempo de registro do pico de tensão aparentado no display do voltímetro, permaneceu por mais tempo no circuito duplo em paralelo.

No circuito duplo em paralelo, apesar de não indicar mudanças significativas nos valores de tensão, foi possível notar um aumento na intensidade na luminosa dos leds.

Em um circuito duplo em série, é esperado que o pico de tensão atingisse um valor próximo do dobro de tensão apurado durante os teste, o que não ocorreu durante os procedimento. Logo vale a pena salientar que pastilhas piezoelétricas são conversores de energia e não baterias. Assim, o padrão de associação não pode ser comparado ao de associação de geradores.

4.2 Conversão de energia em múltiplas camadas

Nesta seção são apresentados os resultado do monitoramento do sistema em múltiplas camadas associadas em série, aumentando em cinco quilograma a carga gravitacional aplicada. A amplitude de massa correlacionada varia entre 50 kg a 100 kg, o que gera para esse ensaio um peso médio de 735 N (massa de 75 kg). O tempo médio de acionamento da superfície de contato, como nos ensaios permaneceu em 0,5 segundos, que é o tempo médio esperado por uma pessoa ao caminhar. Os resultados de tensão, corrente e potência são apresentados na tabela 4.

Tabela 4- Calibração circuito gerador em multiplas camadas

Carga (kg)	Tensão (V)	Corrente (μA)	Potencia (μW)
50	7,48	93,5	699,3
55	7,69	96,1	739,0
60	7,70	96,2	740,7
65	7,91	98,8	781,5
70	8,03	100,3	805,4
75	8.61	107,5	925,5
80	9,45	118,1	1.116,6
85	9,58	119,7	1.146,7
90	9,62	120,2	1.156,3
95	9,75	121,8	1.187,5
100	9,82	122,7	1.204,9

Fonte: Próprio autor (2019)

Como pode ser visto não existe uma correlação linear entre a massa e tensão gerada, Porem é notório que o aumento de massa sobre a superfície gera um aumento no pico de tensão. Contudo é necessário relatar, que picos mais elevados de tensão, foram registrados para intervalos de tempo mais curtos.

A segunda etapa de testes realizadas sobre a plataforma, com as pastilhas ligadas em paralelo, apresentou resultados similares ao apresentados e comentados para o circuito em série. Apenas apresentando pequenas variações.

4.3 Estimativa

A tabela 5, mostra a relação de material necessário para a confecção da estrutura gerador de múltiplas camadas.

Tabela 5- -Estimativa de material necessário para a confecção da estrutura geradora

Circuito	Dimensão x (m)	Dimensão y (m)	Área (m²)	Pastilhas	Isoladores
Plataforma	0,20	0,20	0,04	48	48
Tapete 1	1,6	1,1	1,76	2112	2112
Tapete 2	1,6	1,1	1,76	2112	2112

Fonte: Próprio autor (2019)

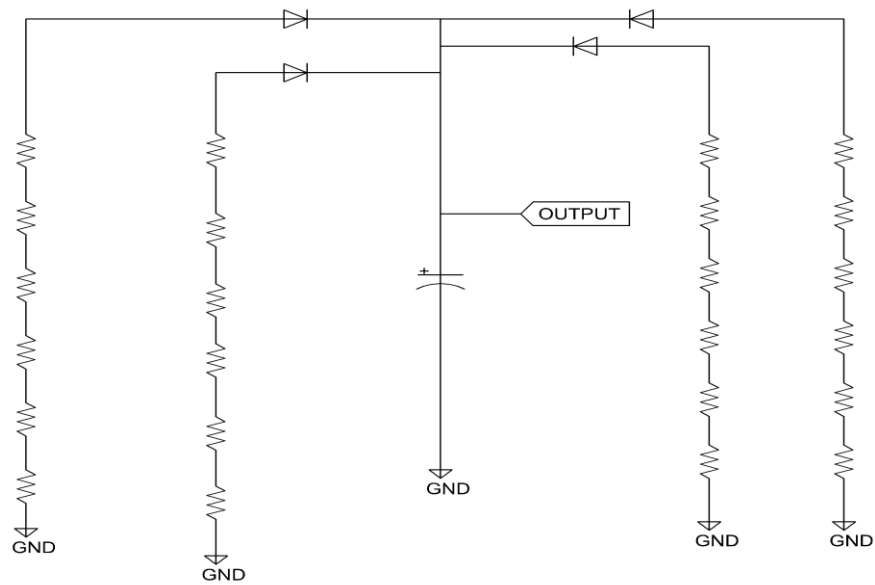
O número de pastilhas e isoladores necessário para a confecção da estrutura geradora, foi estipulado usando proporção simples. Para determinar as dimensões do tapete, foi considerado os dados colhidos durante o horário de pico de entrada de estudantes (de 18:40 horas a 19:20). Em média duas pessoas cruzam lado a lado cada vão da escadaria, ocupando 1,6 metros na direção do eixo Y, movendo 0,6 metros na direção do eixo X, com o tempo médio por passadas de 0,5 segundos.

4.3.1 Estimativa de geração

A estimativa de geração levou em consideração o valor médio de conversão de energia observado na seção 4,3, juntamente com os dados observados no fluxo de pessoas no horário de pico.

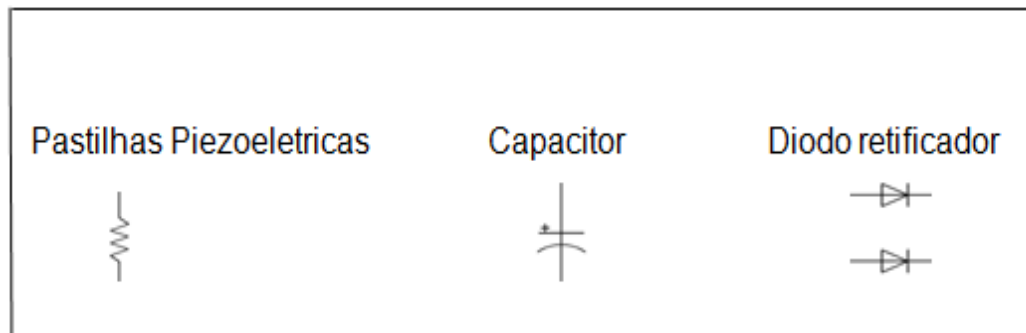
Para esse projeto é esperado que cada impacto sobre a superfície, gere um pico de tensão médio de 8,61 volts e acione duas colunas de seis pastilhas. Então a melhor proposta de confecção do tapete gerador, seria uma montagem particionada, considerando ligações em serie e em paralelo, como mostrado no esquema da figura 16.

Figura 16- Proposta de circuito gerador em múltiplas camadas



Fonte: Proprio autor (2019)

O circuito pode ser melhor entendido observando a simbologia de cada componente apresentado na legenda abaixo:



Assim, cada conjunto gerador seria composto por quatro conjunto de pastilhas ligadas em série de seis pastilhas e ligadas entre si em paralelo. Como pode ser observado no esquema da figura 16, um diodo retificador em cada coluna evitaria o retorno de corrente. Um capacitor ou uma bateria poderia ser usada para armazenar a energia produzida.

Os resultados esperados para valores de tensão, corrente, e potência em função do número de impactos, são apresentados na tabela 6.

Tabela 6- Estimativa de geração em série por impacto

Circuito	Número de impactos	Área de impacto (cm ²)	Massa média em kg	Tensão (V)	Corrente (μA)	Potencia (μW)
Plataforma	01	180	75	8,61	107,5	925,6
Tapete 1	02	360	150	17,22	215	3072,3
Tapete 2	02	360	150	17,22	215	3072,3
Associação	04	720	300	34,22	430	14.714,6

Fonte: Próprio autor(2019)

Analisando a associação mista dos conversores (tabela 6), estimasse que a cada conjunto de acionamento, gere uma potência de 14,8 mW. Assim, é possível esperar que somente no intervalo de entrada, gere uma quantidade de energia de:

$$E = P\Delta t$$

$$E = 2 \times 14,8 \text{ mW} \times 2400 \text{ s}$$

$$E = 71,04 \text{ Joules} = 0,0197 \text{ KWh}$$

É importante salientar que essa estimativa leva em consideração que cada pessoa, necessita executar duas passadas para cruzar o tapete, levando o tempo de 1 segundo na travessia. Assim, é esperado que a capacidade de geração do sistema seja de 0,394 KWh por mês, considerando que um mês letivo tenha 20 dias de aula.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Analisando os padrões de resposta a pressão aplicada durante a calibração, foi possível concluir que não existe uma correlação linear entre massa e tensão. E que as associação em serie e a associação em paralelos nos dois circuitos de calibração não apresentaram diferenças significativas em valores de tensão. Porém, para o circuito em paralelo foi observado um aumento na intensidade luminosa o que pode ser interpretado como um pequeno aumento de corrente disponibilizado pelos conversores.

Trabalhando os dados fornecidos pelo sistema gerador em múltiplas camadas, é notório que existe um aumento na amplitude do pico de tensão em resposta ao aumento de massa e que os picos apresentam basicamente a mesma amplitude tanto para a associação em serie quanto para a associação em paralelo quando submetidos a mesma pressão, Isso pode ser atribuído às características química e física do material que compõe as pastilhas conversoras.

É sugerido como trabalho futuro, construir, testar e implantar o sistema de geração em múltiplas camadas, visando ser usado como fonte de energia para alimentar o sistema de iluminação via led.

6 REFERÊNCIAS

CALLISTER, W.D. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons, E.U.A, 5ed., 2006

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.><https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-25062004-130205/publico/pdfGalizia.pdf>>. Acesso 16 Out.2019.

CHENG, S. Y., Fu, S. L. and Wei, C. C., *Low-temperature sintering of PZT ceramics*. *Ceramics International*, v.13, 1987, p. 223-231.

FARIAS , * & SALLUM , *Projeto de geradores piezoelétricos para iluminação no restaurante universitário da unicamp* . Revista Ciências do Ambiente On-Line Novembro, 2013 Volume 9, Número 2. Disponível em <[file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/386-1341-1-PB%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/386-1341-1-PB%20(4).pdf)> Acesso : 02 Set 2019.

FRAGMAQ. *Entenda os problemas da crise energética no mundo*. Fragmaq, 16 Maio 2013. Disponível em: <https://www.fragmaq.com.br/blog/entenda-os-problemas-da-crise-energetica-no-mundo/> Acesso em: 20 Set 2019.

GEOVANNAL, C. *Piezoletrecidade, 2010*. Disponível em: Disponível em: <www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2007> Acesso em: 5 Out 2019.

HARVEY, James A. Smart Materials. In: Kutz, M. *Handbook of Materials Selection*, Ed. John Wiley & Sons, E.U:A, 2002.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e Meio ambiente. 4a. ed. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2011. Cap. 11, p. 308-330.*

KATZIR, S. *The discovery of the piezoelectric effect, Archive for History of ExactSciences*. 57(1), 61-91

LICCARDO, Antônio. A cristalografia e sua correlação com a gemologia. 2007, p.13. Disponível em: . Acesso em: 06 Agost. 2019.

LUIZ, ANDRÉ GOMES FERREIRA. *Plataforma energética a partir de discos piezoelétricos centro universitário de Brasília – Uniceub*. Brasília.2015 Disponível > [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/21062955%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/21062955%20(5).pdf)> Acesso : 12 Set 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Resenha Energética Brasileira,2016*. Disponível em: < [http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4;version=1.0)>. Acesso em: 10 out. 2019.

PEREIRA, A. H. A. *Cerâmicas piezoelétricas : funcionamento e propriedades*. ATCP *Engenhari Física*. São Carlos, p. 7. 2010. 65 PESQUISA. Biomassa. Sua Pesquisa, 2010.

RDRIGUES, SINEZIO ROSA. *Análise experimental do efeito piezoelétrico para a geração de energia elétrica*. Caratinga 2016. Disponível em : > <http://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/522/1/tcc-sin%c3%a9zio.pdf> > Acesso : 25 Out 2019.

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

SANTOS, Diego Marcelo. LED - *Diodo Emissor de Luz*, *Info Escola*.2008. Disponível em: < <http://www.infoescola.com/eletronica/led-diodo-emissor-de-luz/>>. Acesso em: 20 nov. 2016

TEIXEIRA, Mariane Mendes. *Diodo semicondutor*, *Mundo educação*.2010. Disponível em: < <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/diodo-semicondutor.htm>>. Acesso em: 20 Set 2019.

TEXEIRA, E. C.; RODRIGUES, M. D. C. B.; BRAGA, H. A. C. *Uma visao topologica sobre sistemas fotovoltaicos monofasicos conectados a rede de energia eletrica*; Universidade Federal de Juiz de For. Juiz de fora. 2003.

TILLEY, Richard J. D. *Cristais e estruturas cristalinas*, *Cristalografia 2014*, cap. 1. Pag. 54.

TODA MATERIA. *Potencia eletrica* . 2019 disponível em :< <https://www.todamateria.com.br/potencia-eletrica/>> Acesso : 03 Out 2019.

WIKI CULTURAMA. *Definição de Cronômetro | Conceito e Significado de Cronômetro*. [http:// edukativa.blogspot.com/2015/07definição-de-cronometro-conceito-e.html](http://edukativa.blogspot.com/2015/07definição-de-cronometro-conceito-e.html). Acesso: 03 Nov 2019.

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