

PESQUISAS, ANÁLISES E DEMONSTRAÇÃO DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DAS PLACAS OU PASTILHAS PIEZOELÉTRICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Heloyane da Silva Bezerra, heloyane@hotmail.com¹

¹Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI –Tirirical, CEP 65055-970, São Luís-MA, Brasil.

Resumo: O propósito dessa pesquisa é analisar e demonstrar os efeitos das pastilhas piezoelétricas para construção de um tapete gerador de energia elétrica. As pastilhas piezoelétricas geram eletricidade na presença de tensão mecânica tais como, pessoas em movimento, bicicletas ou qualquer outra força exercida sobre elas. Estimuladas mecanicamente, as pastilhas exibem um momento elétrico, na qual a intensidade é equivalente ao esforço aplicado sobre o tapete, transformando assim energia mecânica em energia elétrica. Esta energia é então armazenada em uma bateria ou supercapacitores para depois ser utilizada.

Palavras-chave Tapete piezoelétrico, geração de energia e armazenador de energia

1. INTRODUÇÃO

Com a descoberta das cerâmicas piezoelétricas (Titanato zirconato de chumbo PbTiO_3) foi possível produzir energia elétrica através de impulsos mecânicos, ou seja, quando comprimidos, produzem uma diferença de potencial elétrico entre suas superfícies. Inversamente, quando se aplica uma diferença de potencial elétrico às suas superfícies, eles se contraem ou expandem, dependendo da polaridade (Cady, 1964).

Segundo Padilha (2000), os materiais piezoelétricos podem ser usados como transdutores, que são componentes que convertem energia elétrica em deformação mecânica e vice-versa. Eles são utilizados, por exemplo, em microfones. Os principais materiais piezoelétricos são: quartzo, titanato de bário, titanato de chumbo e zirconato de chumbo (PbZrO_3).

Através de um método chamado power harvesting (Souza, 2011), obtém-se energia a partir da vibração de uma estrutura, utilizando transdutores piezoelétricos. Na presença de uma ação mecânica o transdutor produz energia elétrica, na qual poderá ser armazenada e depois usada.

Diante dos problemas enfrentados por diversos tipos de energia não renováveis, dos altos custos da energia elétrica e pela busca de novas energias limpas, esses transdutores que transformam energia mecânica em elétrica são uma alternativa para conservação do meio ambiente e produção abundante de energia.

Este trabalho tem o objetivo de testar se diferentes configurações das pastilhas de um tapete piezoelétrico afetam a geração de energia elétrica utilizando o método experimental. Obteve-se as tensões produzidas pelas pastilhas piezoelétricas em diferentes circuitos, posteriormente se desenvolveu um modelo experimental com diversas quantidades de pastilhas piezoelétricas para determinar a melhor condição na qual o tapete forneça maior energia e por fim, escolheu-se um armazenador de energia através de pesquisas bibliográficas e matriz de decisão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Piezoeletricidade

Pierre Curie e seu irmão, Jacques Curie (1855 – 1941) descobriram, em 1880, o fenômeno da piezoeletrização: certos cristais como, por exemplo, o quartzo e a turmalina, quando comprimidos, eletrizam suas faces opostas com cargas elétricas de sinais contrários (Ferraro, 2014).

A palavra piezoeletricidade vem da palavra grega piezein – pressionar firmemente ou apertar. Piezoeletricidade é a propriedade, existente em alguns materiais, pela qual a polarização é induzida e um campo elétrico é formado através de uma amostra em resposta à aplicação de uma força externa (Callister, 2012). Quando uma força é aplicada em um material piezoelétrico, um campo elétrico é gerado (direto). Invertendo-se o sinal da força, por exemplo, de compressão para tração, a direção do campo gerado é invertida (Padilha, 2000). Ocorre o efeito contrário quando é imposto ao material um campo elétrico, produzindo assim uma deformação mecânica (inverso). A Fig. 1 mostra o esquema de funcionamento.



Figura 1. Representação esquemática da conversão de energia no efeito piezoelétrico.

Fonte: Wang (2002)

2.2. Princípio de funcionamento dos materiais piezoelétricos

O efeito piezoelétrico ocorre quando tensões de tração ou compressão aplicadas ao cristal modificam a separação entre as cargas positivas e negativas em cada célula unitária, levando a uma polarização da superfície do cristal (Harvey, 2002). Em especial nas cerâmicas tipo PZT (titanato zirconato de chumbo), estes cristais exibem estrutura cristalina tipo Perovskita, que apresenta simetria cúbica simples, tetragonal, ou romboédrica, conforme a temperatura em que o material se encontra. Estando abaixo de uma certa temperatura crítica, conhecida como temperatura de Curie, a estrutura Perovskita apresenta a simetria tetragonal em que o centro de simetria das cargas elétricas positivas não coincide com o centro de simetria das cargas negativas, dando origem a um dipolo (Pereira, 2010).

Considerando o tetraedro representado na Fig. 2, a localização do átomo carregado positivamente no centro, coincide com o centro de simetria das cargas negativas em volta dele. Submetendo o tetraedro a uma tensão, uma deformação é produzida e o centro de simetria das cargas negativas não coincide mais com o cátion. Se todos os tetraedros em um determinado cristal apresentam a mesma orientação ou orientações mútuas que não permitam cancelamento, um dipolo macroscópico será percebido no cristal, e as duas faces postas do mesmo apresentarão cargas contrárias. Este arranjo funciona como um transdutor eletromecânico que converte um estímulo mecânico em sinal elétrico e vice-versa, permitindo que tais materiais sejam utilizados como sensores e atuadores em diversas aplicações (Wang, 2002).

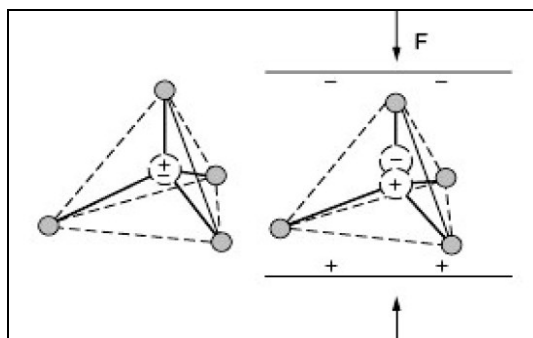


Figura 2. Mecanismo do efeito piezoelétrico.

Fonte: Wang (2002)

2.3. Materiais Piezoelétricos

A área de aplicação dos materiais piezoelétricos é muito amplo, mas, muitos são os materiais que não foram explorados para tal. Os materiais piezoelétricos podem ser divididos em cristais, semicondutores, cerâmicas, polímeros, compósitos e filmes finos, porém serão abordados no presente trabalho os cristais e cerâmicos por serem os mais utilizados em aplicações tecnológicas (Eiras, 2004).

2.3.1. Cristais

A maior parte dos cristais não apresentam propriedades piezoelétricas. O quartzo é mais eminente cristal natural que possui esta propriedade. Ele é o mineral piezoelétrico (vibra ao receber excitação elétrica, as formas de vibração estão relacionadas com a forma de corte que é feito no cristal) mais importante para indústria eletrônica moderna (Jesus *et al.*, 2014).

Cristais de quartzo são encontrados na natureza (minerais de quartzo, que para crescer de forma natural demoram muitos anos) ou podem ser desenvolvidos artificialmente, por exemplo, por processos hidrotérmicos (Eiras, 2004).

A placa de quartzo devidamente orientada é usada como padrão de frequência de oscilações. Geralmente, os cristais de quartzo deste uso, de alta perfeição cristalográfica, são fabricados pelo método de cristalização artificial. A ressonância mecânica das placas de quartzo, que pode ser ajustada em uma frequência desejada é muito estável devido à propriedade elástica quase perfeita do quartzo e, é transformada em oscilação eletrônica através da propriedade piezoelétrica. O produto mais popular é o relógio de quartzo (Motoki, 2003).

2.3.2. Cerâmicas

Desde o descobrimento de que cerâmicas de titanato de bário (BaTiO_3) podiam ser polarizadas e apresentar o efeito piezoelétrico, materiais cerâmicos são os mais utilizados, até o presente, como elementos piezoelétricos na maioria das aplicações tecnológicas. O descobrimento de Roberts (1947) marca assim o início da era das piezocerâmicas (Viginoski, 2013). Segundo Eiras (2004, p. 13) “As piezocerâmicas são materiais ferroelétricos que se obtém através de métodos de preparação de cerâmicas avançadas. Em seu estado não polarizado (e não texturadas) são isotrópicas. Para sua utilização como elemento piezoelétrico precisam ser polarizadas sob a aplicação de um campo elétrico dc da ordem de alguns quilovolts por milímetro (KV/mm). O fato de ser ferroelétricas permite que se reorienta a polarização espontânea, na direção do campo de polarização. Cerâmicas piezoelétricas (ou ferroelétricas polarizadas) apresentam simetria de 6mm ou ∞mm ”.

Foi inovador a evolução das cerâmicas piezoelétricas. Além de exibirem propriedades superiores que os cristais após “polarizadas”, também oferecem dimensões e geometrias flexíveis por serem produzidas por meio da sinterização de pós cerâmicos, conformados mediante prensagem ou extrusão. Hoje as cerâmicas piezoelétricas tipo titanato zirconato de chumbo (PZT), em suas várias transformações, são as cerâmicas dominantes no mercado (Cady, 1964; Suslick, 1989; Arnau, 2008).

2.4. Transdutores Piezoelétricos

Os materiais piezoelétricos podem ser usados como transdutores entre as energias elétrica e mecânica. Uma das primeiras utilizações das cerâmicas piezoelétricas foi em sonares, nos quais objetos sob a água, como por exemplo, submarinos, são localizados e suas posições são estabelecidas usando um sistema emissor e receptor ultrassônico. Um sinal elétrico causa a oscilação de um cristal piezoelétrico, que produz vibrações mecânicas de alta frequência transmitida através da água. Ao encontrar um objeto, esses sinais são refletidos de volta à origem, e outro material piezoelétrico recebe essa energia vibracional refletida que é, então, convertida mais uma vez em um sinal elétrico. A espaço entre a fonte ultrassônica e o corpo refletor é definida a partir do tempo decorrido entre os eventos de envio e retorno do sinal (Callister, 2012).

Os transdutores piezoelétricos podem ser encontrados em diversas formas e com várias aplicações práticas. Os tipos mais simples são baratos e podem até ser aproveitados de aparelhos fora de uso (Braga, 2008). As pastilhas piezoelétricas (ou transdutor piezoelétrico) dispõe de suas propriedades devido a sua estrutura cristalina ser feita de cristal, este que se torna polarizado quando se realiza uma deformação mecânica homogênea ou ressoa quando se aplica uma excitação usando corrente de alta frequência. Esses transdutores podem ser encontrados em cartões musicais, brinquedos, automóveis e também é amplamente empregado na mecatrônica e na robótica (Pereira, 2017). Muitos estudos ainda estão sendo desenvolvidos para o uso dos transdutores piezoelétricos para geração de energia elétrica.

3. METODOLOGIA

Para a concepção desse projeto, foi necessário o estudo através de revisão bibliográfica acerca do tema, verificando suas características técnicas e possíveis métodos de montagem. A priori foi pesquisado os transdutores piezoelétricos disponíveis no mercado e sua viabilidade técnica.

3.1. Listagem dos materiais utilizados para montagem do tapete

Para o andamento deste projeto, buscaram-se materiais adequados para transformar energia mecânica em elétrica. Então, como já foi dito, optou-se por pastilhas piezoelétricas que são perfeitamente habilitadas para esse tipo de processo, pois são capazes de gerar tensão e corrente elétrica. Reunindo diferentes materiais, alcançou-se o desenvolvimento do tapete piezoelétrico. Abaixo estão listados todos os materiais necessários para a construção do tapete. Tais materiais são:

- ✓ Pastilhas Piezoelétricas de 27mm
- ✓ Fios Flexíveis de 0,32mm² vermelho e preto
- ✓ Estanho
- ✓ Ferro de solda
- ✓ Madeirite
- ✓ Fita dupla face
- ✓ Tiras de borracha

3.2. Pastilha Piezoelétrica e montagem do circuito

O transdutor piezoelétrico, também chamado popularmente de pastilhas ou placas piezoelétricas são vendidos no mercado em vários tamanhos, usou-se no experimento placas de 27 milímetros fabricados a partir de cerâmica piezoelétrica PZT (Titanato Zirconato de Chumbo). A pastilha possui uma estrutura fina em formato de disco com três

camadas principais: a membrana do transdutor piezoelétrico, a folha de metal e o isolador (Viginoski, 2013). A Figura 3 mostra a pastilha e sua composição.

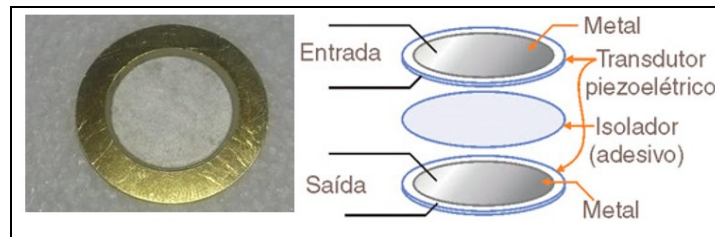


Figura 3. Pastilha piezoelétrica de 27mm usada no experimento e sua composição.

Fonte: Adaptada de Braga (2012)

Foram testadas 6 pastilhas piezoelétricas no intuito de simular um pequeno tapete, elas foram soldadas em fios de seção $0,32\text{mm}^2$, tanto em circuito série quanto em paralelo (Fig. 4). Para registro das respostas foi colocado na saída do circuito um multímetro digital da marca Minipa ET-1002 em escala de Volts na tensão DC e faixa de 20V, que de acordo com o fabricante possui erro de $\pm(0.8\%+5D)$, ver Tabela 1.

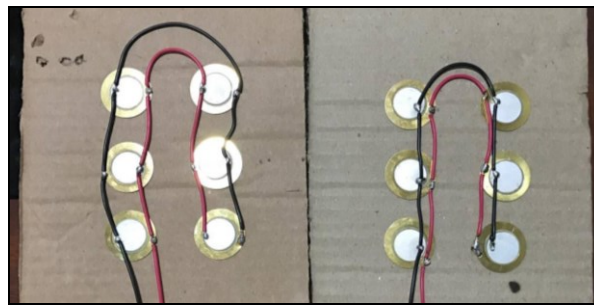


Figura 4. Circuito série (esquerda) e circuito paralelo (direita).

Tabela1. Precisão do multímetro Minipa ET- 1002 em tensão DC.

Faixa	Precisão	Resolução
200mV	$\pm(0.5\%+5D)$	100 μ V
2000mV	$\pm(0.8\%+5D)$	1mV
20V		10mV
200V		100mV
600V		1V

Fonte: Manual Minipa (2017)

Para pressionar as pastilhas, foram colocadas massas de 1 a 5 Kg distribuídas sobre uma placa de madeirite de $0,16 \times 0,20\text{m}^2$ de área, essa massa simula pessoas pisando no tapete. A placa possui borrachas na mesma direção das pastilhas, com o intuito de pressionar e amortecer os piezoelétricos. Esse procedimento foi feito nos dois circuitos a fim de mostrar qual deles possui maior tensão de saída, a Figura 5 mostra o esquema utilizado.

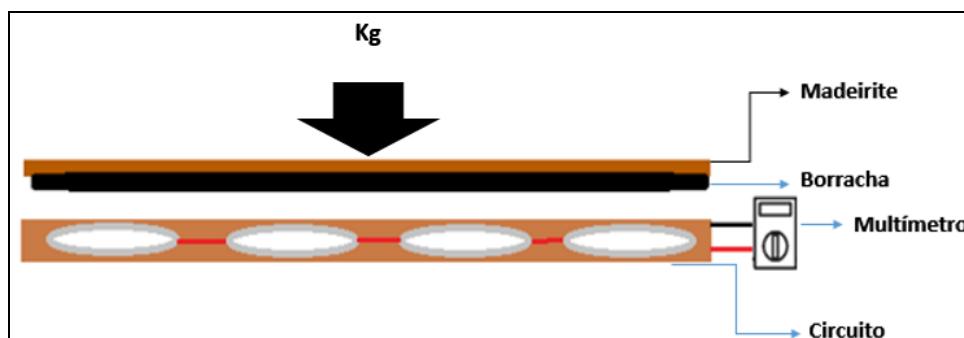


Figura 5. Diagrama do Procedimento do Experimento Realizado.

Os valores das tensões dos dois circuitos para as massas de 1 a 5 Kg estão apresentadas nas Tab. 2 e 3. Para determinar as tensões foram feitas dez repetições com cada massa, posteriormente foram tiradas as médias das respostas de cada uma delas. Como todo instrumento de medição tem seu erro, calculou-se de acordo com a escala, a precisão da medida de cada amostra.

Tabela 2. Valores das tensões de saída do circuito série.

Circuito Série						
Medições	Massa (Kg)					
	1	2	3	4	5	
1	0,26	0,54	1,54	1,99	2,44	Tensão (V)
2	0,22	0,56	1,31	1,51	2,04	
3	0,29	0,54	1,36	1,96	2,07	
4	0,28	0,56	1,63	1,96	2,10	
5	0,25	0,50	1,32	1,57	2,04	
6	0,28	0,56	1,21	1,97	2,01	
7	0,27	0,50	1,34	1,63	2,04	
8	0,26	0,51	1,17	1,49	2,09	
9	0,25	0,53	1,32	1,33	2,01	
10	0,25	0,51	1,25	1,70	2,12	
Médias	0,26	0,53	1,35	1,71	2,10	
Erro	$\pm 0,03$	$\pm 0,02$	$\pm 0,17$	$\pm 0,33$	$\pm 0,05$	
Desv. Pad. Amostral	0,020	0,025	0,141	0,243	0,126	

Tabela 3. Valores das tensões de saída do circuito paralelo.

Circuito Paralelo						
Medições	Massa (Kg)					
	1	2	3	4	5	
1	0,28	1,16	1,73	2,98	4,21	Tensão (V)
2	0,37	1,09	2,35	2,99	3,52	
3	0,23	1,23	1,81	2,57	4,48	
4	0,32	1,35	2,65	2,45	4,86	
5	0,26	1,07	2,55	2,62	4,41	
6	0,35	1,59	1,65	2,66	4,33	
7	0,42	1,10	1,86	2,45	3,86	
8	0,24	1,04	1,76	2,50	3,44	
9	0,23	1,20	1,48	2,40	3,57	
10	0,47	1,12	2,72	2,32	4,51	
Médias	0,32	1,20	2,06	2,59	4,12	
Erro	$\pm 0,15$	$\pm 0,13$	$\pm 0,34$	$\pm 0,3$	$\pm 0,26$	
Desv. Pad. Amostral	0,084	0,166	0,461	0,230	0,490	

3.3. Definição da quantidade de pastilhas piezoelétricas

O teste foi feito simulando um pequeno tapete com 3, 6 e 9 pastilhas piezoelétricas ligadas em circuito paralelo com uma pessoa de 70 Kg utilizando a mesma metodologia anterior, ou seja, fazendo 10 repetições com cada quantidade de piezoelétrico e verificando quanto de tensão cada um dos três grupos de pastilhas podem fornecer com a utilização de um multímetro na escala 20V, a fim de constatar experimentalmente se a quantidade pode influenciar significativamente na geração de energia. A Tabela 4 mostra os valores obtidos.

Tabela 4. Valores das tensões de saída do circuito paralelo.

Medições	Quantidade de pastilhas			
	3 PZTs	6 PZTs	9 PZTs	
1	12,26	15,30	18,09	Tensão(V)
2	13,36	18,86	17,00	
3	10,41	17,16	14,92	
4	15,51	17,02	18,50	
5	12,37	14,11	17,56	
6	12,50	15,34	16,40	
7	13,62	14,38	18,03	
8	14,40	12,38	16,86	
9	11,91	15,57	17,60	
10	14,41	14,78	19,36	
Médias	13,08	15,49	17,43	
Desv. Pad. Amostral	1,483	1,822	1,228	

Para acumular a energia produzida pelas pastilhas, faz-se indispensável o uso de armazenadores de energia, pois as placas piezoelétricas não detêm a capacidade de armazenar. Os armazenadores mais adequados podem ser as baterias, os capacitores ou supercapacitores, cada um deles possuem características diferentes e com estudo bibliográfico e ajuda de uma matriz de decisão, pode-se escolher o mais adequado para o tapete.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram obtidos com a utilização de um multímetro na escala de 20 volts, mediante a aplicação das massas (1 a 5Kg) com os piezoelétricos conectados diretamente a ele. Os resultados da massa pela tensão dos circuitos série e paralelo cada um contendo 6 geradores piezoelétricos estão ilustrados nas Fig. 6 e 7 abaixo.

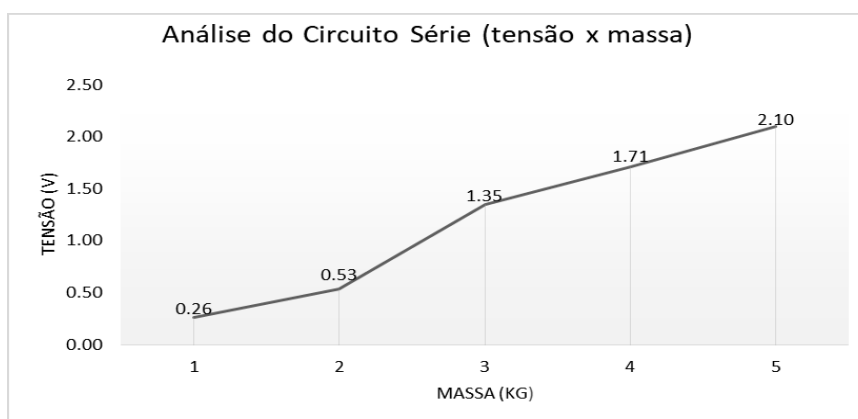


Figura 6. Análise do circuito série.

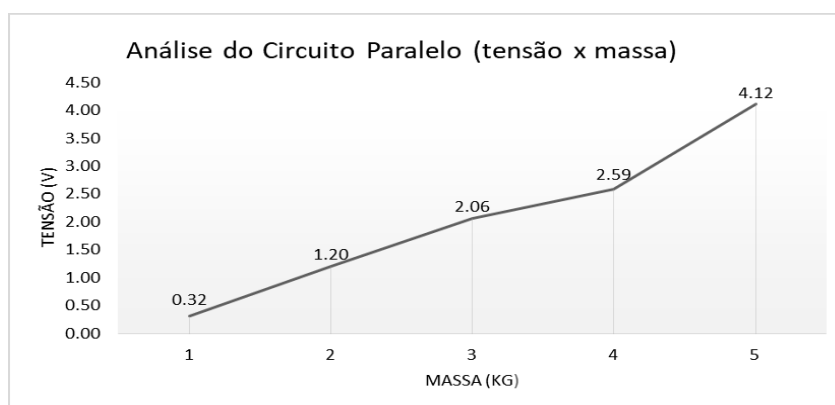


Figura 7. Análise do circuito paralelo.

Observa-se nas duas figuras acima que os resultados dos gráficos não são lineares, ou seja, mesmo que se aumente a massa, o valor de tensão não dobra de um resultado para o outro, porém a tensão fica bem próxima de ser linear. Com os testes, verificou-se nos dois gráficos que mesmo pressionando as pastilhas com uma quantidade mínima de massa, houve uma resposta de saída de energia.

De posse dos valores de tensão de cada circuito, foi feito um gráfico comparativo (Fig. 8) para tornar mais clara a visualização do circuito que possui melhor eficácia para construção do tapete piezoelétrico.

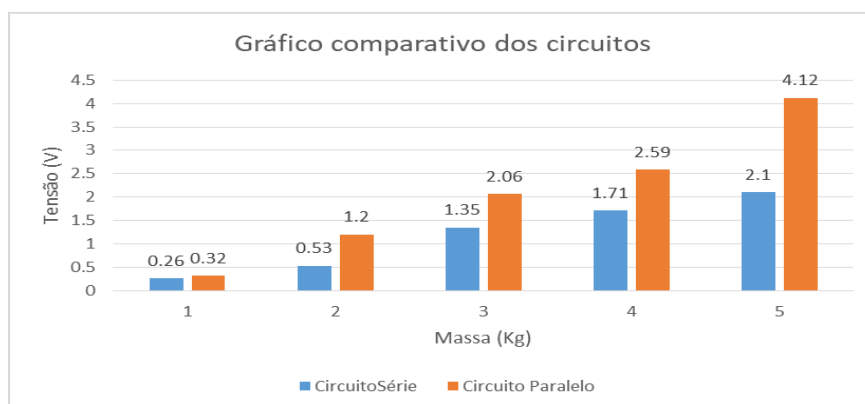


Figura 8. Comparação dos resultados dos circuitos série e paralelo.

Comparando os resultados dos circuitos série e paralelo, podemos calcular a porcentagem do aumento de tensão entre os dois circuitos. Para massa de 1 Kg houve um aumento de 18,75% do circuito série para o paralelo, 2Kg houve um aumento de 55,83%, 3Kg houve um aumento de 34,43%, 4Kg houve um aumento de 34,64% e para 5Kg um aumento de 49,02%.

Os testes feitos em relação a tensão e número de placas piezoelétricas considerando a massa de uma pessoa com 70Kg pisando no tapete são visualizadas na Fig. 9 abaixo. O resultado da tensão de cada grupo de piezoelétrico é a média do teste das 10 repetições.

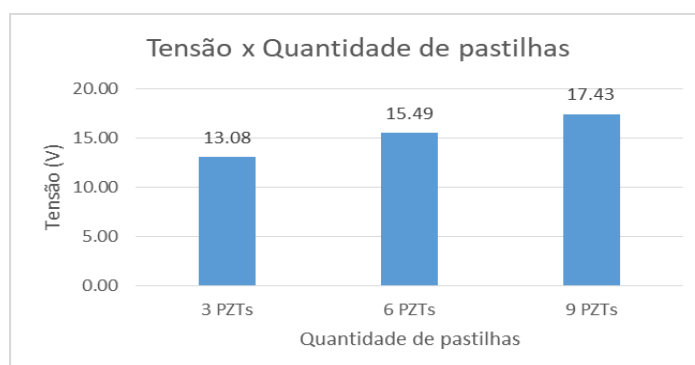


Figura 9. Comparação das tensões de cada grupo de pastilha piezoelétrica.

Fazendo-se as porcentagens comparando os 3 grupos de pastilhas, podemos verificar que houve um aumento de 15,55% do grupo de 3PZTs para o de 6PZTs, 11,13% do grupo de 6PZTs para o de 9PZTs e 24,95% do grupo de 3PZTs para o de 9PZTs.

Os piezoelétricos não possuem a capacidade de armazenamento de energia, logo se torna necessário a utilização de baterias, capacitores ou supercapacitores para fazer essa função. A escolha dos armazenadores se deu por base na matriz de decisão, utilizando alguns critérios importantes para o tapete como mostra a Tab. 5 abaixo.

Tabela 5. Matriz de decisão para escolha do armazenador de energia.

Matriz de decisão				
CRITÉRIOS	Pesos	Bateria	Capacitor	Supercapacitor
Custo	2	6	8	5
Capacidade de armazenamento	5	10	2	8
Velocidade de carregamento	4	2	8	10
Velocidade de descarregamento	3	10	5	8
Soma (Peso x Nota)		100	73	114

Guan e Liao (2009) realizaram uma pesquisa com os dispositivos de armazenamento, o estudo analisou a bateria recarregável NiMH e de lítio e o supercapacitor, o qual tem densidade de energia 10-100 vezes superior à de um capacitor eletrolítico convencional. Verificou-se que o supercapacitor tem uma vida útil e uma eficiência maior que as baterias recarregáveis, quanto a densidade da energia, a bateria recarregável é 10 vezes maior à do supercapacitor.

Para o acúmulo dessa conversão de energia mecânica para elétrica (pulsos elétricos) de acordo com a matriz de decisão, o armazenador mais adequado é o supercapacitor. Este, também conhecido como “Ride- Through Power” foi dominado pelas baterias no passado, mas atualmente os capacitores de dupla camada, estão fazendo um rápido progresso em características como preço, tamanho e resistência-série equivalente por capacitância, as quais continuam caindo de valor (Fittipaldi, 2009).

5. CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados dos testes realizados, pode-se concluir que a pastilha piezoelétrica mesmo com pequenos estímulos mecânicos é capaz de gerar facilmente uma diferença de potencial, ou seja, com baixas pressões que as massas exerciam e pequena quantidade de piezoelétricos é possível extrair energia desses elementos. As respostas das tensões de saída dos circuitos série e paralelo não são lineares, porém crescem à medida que se aumenta a carga, ou seja, dobrando ou triplicando a carga, os valores não dobram ou triplicam. Observou-se que as respostas do teste da variação da quantidade de massa, em sua maioria ficaram bem próximas de atingirem a linearidade, já as respostas dos grupos de piezoelétricos (3,6 e 9 PZTs) tiveram resultados bem longe de atingir essa linearidade.

Os resultados de maior expressão em termos de tensão e quantidade de carga foram alcançados pelo circuito paralelo, tendo em média a geração de 38% de energia a mais que o circuito em série.

Constatou-se também que nos testes das quantidades de 3,6 e 9 pastilhas com uma pessoa de 70Kg pisando, o resultado da tensão entre os grupos foi pequeno não ultrapassando a 2 Volts de diferença. Entretanto, do grupo de 3PZTs para o de 9PZTs se verificou um aumento de 24,95%, concluindo que apesar de se ter triplicado as pastilhas a voltagem não triplicou, porém, ela cresce à medida que se adicionam pastilhas.

Para que a energia produzida por essas pastilhas seja armazenada, é necessário a utilização dos supercapacitores como mostra o resultado da matriz de decisão, concluindo que apesar de a bateria possuir maior armazenamento que o supercapacitor, a característica mais desejável para o tapete é a eficiência no carregamento, pois os transdutores piezoelétricos demorariam muito tempo para carregar a bateria, já que eles só emitem pulsos de tensão quando pressionados.

Por fim para que se possa construir um tapete piezoelétrico com maior eficiência, deve-se utilizar maior quantidade de pastilhas possível conectadas eletricamente em circuito paralelo para a geração de energia limpa e de baixo custo, entretanto é necessário estudar e investir em pesquisas mais aprofundadas voltadas para a produção de energia elétrica utilizando esses elementos piezoelétricos.

6. REFERÊNCIAS

- Arnau, A., 2008, “Piezoelectric Transducers and Applications”, Springer, second edition.
- Braga, Newton C., 2012, “Experiências com cerâmicas piezoelétricas”, Disponível em: <http://circuitosnpratica.blogspot.com.br/2012_08_22_archive.html>. Acesso em: 31 jan. 2017.
- Braga, Newton C., 2008, “Mecatrônica Fácil: Transdutores piezoelétricos”, São Paulo: Saber. 37 p. 26 -29.
- Cady, W. G., 1964, “Piezoelectricity: An Introduction to the Theory and Applications of Electromechanical Phenomena in Crystals”, Dover Press.
- Callister, William D. Jr., 2012, “Ciência e engenharia de materiais: uma introdução”, 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC. p. 436.
- Eiras, J. A., 2004, “Materiais piezoelétricos”, In: Programa de Redes Cooperativas de Engenharia (RECOPE). Sensores: Teoria e Aplicações. São Paulo: AlphaMidia Assessoria Fonográfica. cap. 2, p. 9-28.
- Ferraro, Nicolau Gilberto., 2017, “Um pouco da História da Física: Pierre Curie”, 30 de agosto de 2014. Disponível em: <http://osfundamentosdafisica2.blogspot.com.br/2014/08/especial-de sabado_30.html>. Acesso em: 17 jan. 2017.
- Fittipaldi, Hélio., 2009, “Saber Eletrônica: Seleção de Amplificadores”, São Paulo: Saber. (443p).
- Guan, M. J.; LIAO, W. H., 2008, “Characteristics of energy storage devices in piezoelectric energy harvesting systems”. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Lancaster, v.19, n. 6, p. 671-680.
- Harvey, James A., 2002, “Smart Materials”, In: Kutz, M. Handbook of Materials Selection, Ed. John Wiley & Sons, E.U:A.
- Jesus, Fábio de et al., 2014, “Tapete Piezoelétrico Gerador de Energia Elétrica”, 49 f. TCC (Técnico) - Curso de Curso Técnico em Eletrotécnica, Etec Getúlio Vargas, São Paulo. p.15 -18.
- Manual minipa., 2017, “Multímetro digital ET-1002”, Disponível em <<http://www.minipa.com.br /images/Manual/ET-1002-1103-BR.pdf>> Acesso em 07 abril.2017
- Motoki, Akihisa, 2003, “Mineralogia e petrografia para iniciantes”, 18 f. Apostila - Curso de Mineralogia, Uerj, Rio de Janeiro.
- Padilha, Angelo Fernando., 2000, “Materiais de engenharia: Microestrutura e Propriedades”, Curitiba: Hemus. 343 p.
- Pereira, Antônio Henrique Alves., 2010, “Cerâmicas piezoelétricas: funcionamento e propriedades”, Atcp Engenharia Física, São Carlos. p. 2-3.

- Pereira, Clovis., 2017, “Usando Pastilha Piezoelétrica como Fonte de Energia Alternativa”, Disponível em: <<http://blog.novaeletronica.com.br/usando-pastilha-piezoelétrica-como-fonte-de-energia-alternativa/>>. Acesso em: 19 jan.
- Roberts, S., 1947, “Phys. Ver”, 71, 890-895.
- Souza, F.C., 2011, “Sistema de Extração de Potência (Power Harvesting) usando Transdutores Piezoelétricos”, 104f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira.
- Suslick, K.S., 1989, “The Chemical Effects of Ultrasound”, Scientific American February.
- Viginoski, Cibele Lemos Freire., 2013, “Sistema utilizando vibração de um transdutor piezoelétrico para medir densidade de um líquido”, 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 24-25.
- Wang, Z.L., 2002, “Smart Perovskites”, In: Scharzt, M. Encyclopedia of Smart Materials, John Wiley & Sons, New York, E.U.A.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“O autor é o único responsável pelo conteúdo deste trabalho”.

RESEARCH, ANALYSIS AND DEMONSTRATION OF THE PRINCIPLE OF THE OPERATION OF PLATES OR PIEZOÉLETRIC PADS FOR THE GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY

Heloyane da Silva Bezerra, heloyane@hotmail.com¹

¹Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI –Tirirical, CEP 65055-970, São Luís-MA, Brasil.

Abstract. *The purpose of this research is to analyze and demonstrate the effects of piezoelectric pads for the construction of a carpet generating electric energy. The piezoelectric tabs generate electricity in the presence of mechanical stress such as people on the move, bicycles or any other force exerted on them. Mechanically stimulated, the pellets exhibit an electrical moment, in which the intensity is equivalent to the effort applied on the carpet, thus transforming mechanical energy into electrical energy. This energy is then stored in a battery or supercapacitors for later use.*

Keywords: *Piezoelectric carpet, power generation and power provider*