

## CONVERSÃO DE ONDAS SONORAS EM ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO PIEZOELETRICIDADE

LEANDRO FLORENCIO CANDIDO DA SILVA <sup>1</sup>, AMAURI DIAS DE CARVALHO <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Cubatão, leandro.florencio@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Elétrica, Orientador PIBIFSP, IFSP, Câmpus Cubatão, amauridias@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.00-0 Medidas Elétricas, Magnéticas e Eletrônicas; Instrumentação

Apresentado no  
2º Encontro de Pesquisadores de Iniciação Científica do IFSP, Câmpus Cubatão

**RESUMO:** Os estudos realizados investigam a conversão de energia mecânica proveniente de ondas sonoras em energia elétrica. Na busca por encontrar formas de converter a energia, foram realizados dois experimentos com base no conceito da piezoeletricidade (o sensor piezoelétrico submetido a uma pressão gera campo elétrico). No primeiro experimento o sensor piezoelétrico foi preso diretamente em uma grade, na frente de um alto-falante. No segundo, utilizou-se um dispositivo de captação de energia acústica (AEH) para receber a energia sonora do alto-falante. Os resultados obtidos, em ambos os experimentos, relacionam a tensão gerada no piezoelétrico em milivolts (mV) com a frequência em hertz (Hz) de sinais senoidais com amplitude fixa. Estes sinais senoidais foram gerados a partir de um gerador de sinais eletrônico. Os resultados obtidos são apresentados de forma gráfica, sempre relacionando a tensão gerada com a frequência do sinal senoidal. Conclui-se no experimento, que a energia sonora gerada por um sinal senoidal na frequência de 140 Hz forneceu 0,7 V e uma potência de 3,42 mW, que é suficiente para alimentação de dispositivos eletrônicos de baixa potência.

**PALAVRAS-CHAVE:** conversão; energia elétrica; piezoeletricidade;

## SOUND WAVE CONVERSION IN ELECTRICITY USING PIEZOELECTRICITY

**ABSTRACT:** The studies conducted investigate the conversion of mechanical energy from sound waves to electrical energy. In the search to find ways to convert energy, two experiments were performed based on the concept of piezoelectricity (the piezoelectric sensor subjected to a pressure generates an electric field). In the first experiment the piezoelectric sensor was attached directly to a grid in front of a speaker. In the second, an acoustic energy pickup device (AEH) was used to receive the sound energy from the speaker. The results obtained in both experiments relate the voltage generated in the piezoelectric millivolt (mV) with the frequency in hertz (Hz) of fixed amplitude sine signals. These sinusoidal signals were generated from an electronic signal generator. The results are presented graphically, always relating the generated voltage with the frequency of the sinusoidal signal. It is concluded in the experiment that the sound energy generated by a sinusoidal signal at the frequency of 140 Hz provided 0.7 V and a power of 3.42 mW, which is sufficient for powering low power electronic devices.

**KEYWORDS:** conversion; electricity; piezoelectricity;

## INTRODUÇÃO

Colheita de energia (ou captura de energia), do inglês energy harvesting, consiste no aproveitamento da energia de fontes externas (por exemplo, energia solar, térmica, cinética) presente em um determinado ambiente, a qual é capturada e geralmente usada na alimentação de pequenos aparelhos autônomos. A colheita deve ser limpa, não causando impactos ambientais, e também

gratuita, não exigindo investimentos em matéria-prima, pois ela está presente no próprio ambiente nas mais variadas formas. Atualmente existem diversos métodos de colheita de energia sendo empregados ou estudados (PRIYA e INMAN, 2009).

Uma das formas de energia mais interessante para a colheita é a energia presente no som. Geralmente, o som é uma forma comum de perda de energia de diversos processos, que ocorrem em uma atmosfera. A poluição sonora é algo muito presente no cotidiano, o aproveitamento deste som para geração de eletricidade é algo muito promissor e que pode ajudar a atender a demanda atual por métodos eficientes de colheita (KIKANI et al., s.d.)

Nos últimos anos, técnicas para gerar eletricidade a partir de vibrações em uma estrutura leve usando o som do ambiente foram estudadas. Para melhora dessas técnicas, utilizou-se um diafragma circular e piezoeletricamente ativo para conversão de acústica para mecânica e mecânica para elétrica, através de um ressonador Helmholtz eletromecânico. O uso do ressonador permite aumentar a eficiência de um sistema de captação de energia acústica. Basicamente, o ressonador consiste de um objeto oco que possui um orifício. Pode-se adicionar um diafragma piezoelétrico para medir os resultados.

Fang, Hassan, Rahim, Isa e Ismail (2017) utilizaram um retificador e um circuito multiplicador de tensão para obter melhores resultados com o uso de materiais piezoelétricos. Beppu, Souza e Kusakariba (2015) analisaram a utilização de alto-falantes woofer e subwoofer para avaliar a eficácia de cada. Sabe-se que o transdutor encontrado em um alto-falante não possui a eficiência necessária para se obter uma quantidade significativa de energia e que também a energia sonora ambiente não é constante e consistente o suficiente.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A conversão de energia ocorre através de fenômenos físicos, que podem ou não, ocorrer naturalmente, e certamente envolvem perdas de energia durante a conversão. Pelo fato de o som ser uma forma tão comum de perda de energia, há estudos voltados para o reaproveitamento dessa energia, focando na eficiência e na sua colheita. A conversão do som para uma forma de energia aproveitável, neste caso, a eletricidade, pode ser realizada usando-se fenômenos eletromagnéticos ou a piezoeletricidade.

Para encontrar formas mais consistentes de colheita foram realizados dois experimentos, com a utilização de uma pastilha (27 mm de diâmetro) que quando submetida a pressão gera um campo elétrico o qual é coletado como tensão elétrica, isso ocorrendo pela vibração das ondas sonoras. A pastilha foi escolhida por possuir localizada no centro as propriedades piezoelétricas do titanato de bário e ao redor características do titanato de zirconato de chumbo. Além disso, essa pastilha apresenta um ótimo custo benefício.

As especificações técnicas da pastilha piezoelétrica dadas pelo fabricante são uma tensão máxima de 30 Vpp, com uma capacitância de 20,000 pF, com uma frequência de ressonância de  $4200 \pm 500\text{Hz}$ , e uma impedância de ressonância de  $300 \Omega$ .

O primeiro experimento, mostrado na Figura 1, trata da aplicação do sensor piezoelétrico diretamente na grade de um alto-falante de uma caixa de som. Nesse experimento, as ondas sonoras entravam em contato direto com a pastilha piezoelétrica. O alto-falante foi ligado, via cabos, ao gerador de frequências. A pastilha circular foi colada diretamente no alto-falante utilizando fita adesiva, buscando manter a maior proximidade com o alto-falante sem prejudicar a facilidade de movimentação da pastilha devido às ondas sonoras. A pastilha foi conectada a um osciloscópio para medição das tensões.

O segundo experimento foi realizado utilizando-se um dispositivo de captação de energia acústica (AEH) com fendas para passagem do som, baseado no clássico ressonador de Helmholtz com dimensões de 15x15x15 cm (ver Figura 3). Neste segundo experimento utilizou-se a pastilha circular e piezoeletricamente ativa, colada na parede do ressonador. O objetivo do uso de um AEH foi para testar outro método, visando ampliar a eficiência da transformação de energia sonora em elétrica relacionando com os dados coletados no primeiro experimento.

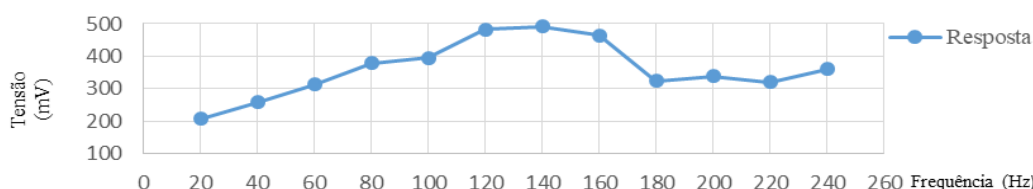
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Ao buscar captar a energia sonora e tentar transformá-la em energia elétrica foram realizados dois experimentos diferentes. No primeiro experimento, sendo estabelecido um volume fixo em 5 de 11 níveis na fonte emissora de ondas sonoras, foi utilizado um osciloscópio para a obtenção das amplitudes para geração de energia elétrica através da energia sonora.



*Figura 1 - Primeiro Experimento: pastilha e alto-falante (Fonte: autores, 2019)*

O gráfico da Figura 2 apresenta os resultados obtidos. Nota-se que o melhor resultado foi obtido na frequência de 140 Hz com a intensidade sonora variando de 47 até 92 dB (valor medido utilizando um decibelímetro), gerando-se uma tensão próxima de 0,5 V.



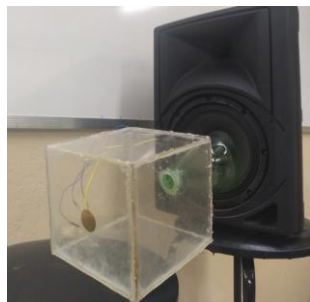
*Figura 2 - Gráfico com a resposta da tensão elétrica gerada em relação à frequência do sinal sonoro no primeiro experimento (Fonte: autores, 2019)*

Para posicionamento do sensor piezoelétrico foram realizados testes de posicionamento no interior do AEH para verificar a melhor posição para a geração de tensão elétrica. Para isso foi posicionado em três locais diferentes, os quais geraram uma tensão de acordo com a frequência de 140Hz, pois foi a frequência que gerou a maior tensão no primeiro experimento. A Tabela 1 apresenta os resultados.

**TABELA 1.** Análise do posicionamento do sensor piezoelétrico utilizando a frequência de 140Hz e a tensão gerada em cada uma das posições. (Fonte: autores, 2019)

Posicionamento do sensor	Tensão (mV)
Topo	653
Frontal a cavidade	706
Parte de baixo	305

No segundo experimento, utilizando o AEH e a pastilha presa no seu interior, frontal a cavidade, obteve-se uma tensão maior que no experimento anterior. A Figura 3 apresenta a montagem do experimento usado para captar a energia sonora.



*Figura 3 - experimento utilizando o ressonador (Fonte: autores, 2019)*

Um osciloscópio foi utilizado para se observar os sinais de cada frequência aplicada ao alto-falante e foram medidas as respectivas amplitudes da energia gerada. Nota-se que assim como no

primeiro experimento a frequência de 140 Hz com a intensidade sonora variando de 49 até 96 dB obteve a maior tensão gerada, cerca de 700mV. O gráfico da Figura 4 apresenta os resultados obtidos.

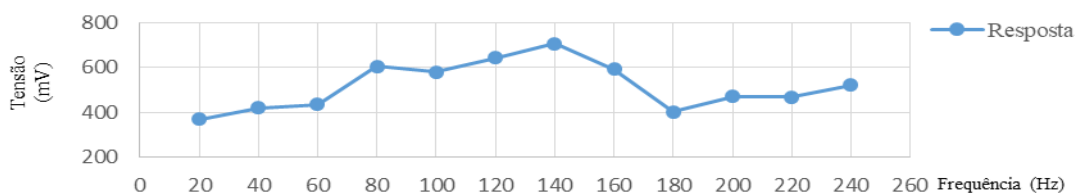


Figura 4 - Gráfico com a resposta da tensão de acordo com a frequência no segundo experimento (Fonte: autores, 2019)

Comparando ambos os experimentos observa-se que no segundo experimento foram geradas tensões maiores com a utilização do ressonador. O volume de ar no interior do ressonador, age como uma mola comprimida ao receber ondas sonoras de pressão pela sua entrada. Sua utilização na absorção das ondas sonoras em uma faixa estreita de frequência fez gerar uma tensão cerca de 40% maior do que no primeiro experimento realizado sem o ressonador. A figura 5 mostra o esquema final do segundo experimento.

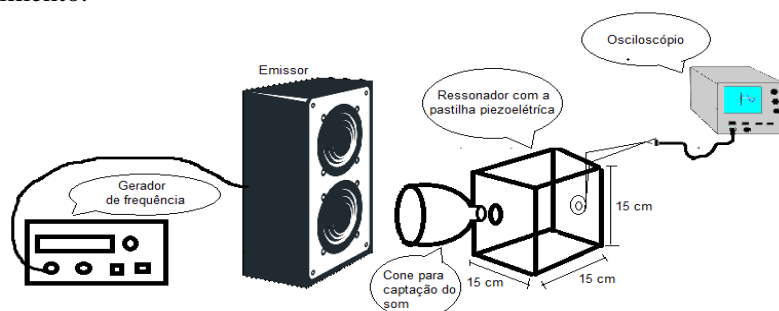


Figura 5 - Segundo Experimento: pastilha no interior do ressonador (Fonte: autores, 2019)

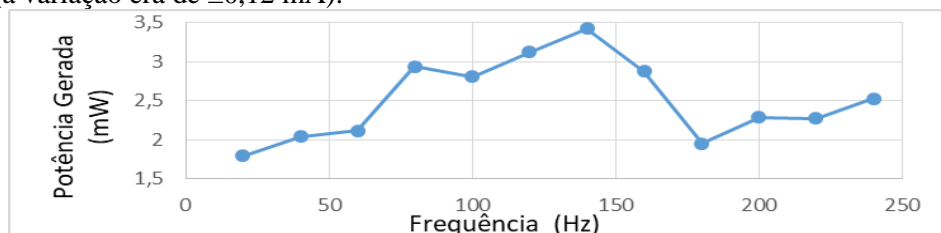
A maior tensão no segundo experimento mostrou-se possível por conta da ressonância de Helmholtz que ocorreu quando as ondas sonoras ao passarem pela cavidade ressoaram, aumentando a quantidade de contatos com o sensor.

Sendo estabelecido um volume fixo em 5 de 11 na fonte emissora de ondas sonoras, realizou-se a medição da corrente no sensor utilizando-se o multímetro em série com o circuito, visualizando uma corrente de 4,85 mA passando pelo sistema. Utilizando-se os valores de tensão obtidos no segundo ensaio, conforme mostra a figura 4 (o qual utilizou do AEH), pode analisar a potência gerada pelo circuito. Para medição de potência utilizou-se a seguinte equação:

$$P = \frac{(V_{rms})^2}{R} = \left( \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} \right)^2 * i$$

Onde  $V_{rms}$  é a tensão eficaz,  $V_{pp}$  é a tensão pico-pico medida,  $R$  é o valor da resistência correspondente e  $i$  é a corrente gerada pelo circuito. Analisando os valores da figura 4 para tensão e o valor de corrente medido pode-se chegar às seguintes conclusões em relação a potência gerada (mW) pelo sistema, como mostrado na figura 6.

Analisou-se uma potência máxima gerada de no máximo 3,42 mW de potência quando se utilizou as frequências de 20 até 250 Hz para geração do som, utilizando um decibelímetro foram medidas as intensidades sonoras, as quais variaram de 51 até 96 dB e através dessa variação observou-se uma pequena alteração na corrente, alcançando o valor de 4,85mA em uma intensidade sonora de 92 dB (a variação era de  $\pm 0,12$  mA).



*Figura 6 - Gráfico com a resposta da potência colhida de acordo com a frequência no segundo experimento, utilizando uma corrente de 4,85mA (Fonte: autores, 2019)*

## CONCLUSÃO

Com base nos experimentos realizados, utilizando o fenômeno da piezoeletricidade, foi gerada uma quantidade de energia sustentável e viável para alimentar dispositivos elétricos de baixa potência. As melhores frequências para a geração ficaram entre 20 a 240 Hz. Utilizando-se as características do sinal sonoro de baixa frequência, resultou, principalmente no segundo experimento, uma maior quantidade de tensão elétrica na coleta de energia utilizando a pastilha piezoelétrica presa ao ressonador. A medida da excitação acústica causada pelo alto-falante e convertida para tensão elétrica pela vibração das paredes do ressonador, resultou em tensões com cerca de 700mV e uma potência de 3,42mW.

Em modo geral, os estudos possibilitaram uma melhor visualização a respeito desse tipo de conversão, observou-se certa limitação, mas que contribui para uma possível continuação e aprimoramento, em relação ao aumento da área do sensor piezoelétrica ou as formas de associação de mais de uma pastilha piezoelétrica.

## REFERÊNCIAS

- FANG, Liew H.; HASSAN, Syed I. S.; RAHIM, Rosemizi Abd; ISA, Muzamir; BIN ISMAIL, Baharuddin. Exploring Piezoelectric for Sound Wave as Energy Harvester. 8th International Conference on Applied Energy. 2017.
- FRADEN, J. Handbook of modern sensors. 3ª ed. Nova Iorque, Estados Unidos: Springer-Verlag, 1993
- FRASÃO, Lucas; BARRA, Mário; MENICONI, Tadeu. Entenda como a geração de energia elétrica afeta o meio ambiente. G1. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/03/entenda-como-geracao-de-energia-eletrica-afeta-o-meio-ambiente.html>>. Acesso em 01 de nov. de 2018.
- FREITAS, R.; MACIEL JUNIOR, V.A. Geração de energia elétrica por ondas sonoras (uma proposta de sustentabilidade). Fazu em Revista, Uberaba, n.7, p. 154 - 158, 2010.
- JVE JOURNALS. Captação de energia acústica de baixa frequência adotando ressonador Helmholtz de fenda. Disponível em: <<https://www.jvejournals.com/article/20245>>. Acesso em 03 de junho de 2019.
- KIKANI, Rohan; THAYALLI, Aashis; BHAT, Ravindra. Acoustic Energy Harvesting. Mukesh Patel School of Technology Management and Engineering. Shirpur, sem data.
- PEARCE, Dave. Getting Started with Communications Engineering. WYNTKA Decibels. 2006.
- PRAXEDES, G.; JACQUES, V. O Princípio de conservação da energia: a convergência dos diferentes sentidos. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, SC, 2009.
- PRIYA, Shashank; INMAN, Daniel J. Energy harvesting technologies. Nova York: Springer, 2009.
- RUMSEY, F; MCCORMICK, T. Sound and Recording: An Introduction. 5ª ed. Oxford: Focal Press. 2006.
- SADIKU, Matthew N. O. Elementos do Eletromagnetismo. 5ª ed., Porto Alegre: Bookman. 2012.
- SOUZA, João G. N. e; BEPPU, Fernanda T.; KUSAKARIBA, Tiago. Conversão de energia sonora para energia elétrica utilizando alto-falantes. 2015. 140 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- UNIVERSITY OF SALFORD. Microphones. Disponível em: <[http://www.acoustics.salford.ac.uk/acoustics\\_info/microphones/?content=index](http://www.acoustics.salford.ac.uk/acoustics_info/microphones/?content=index)>. Acesso em 01 de abril. de 2019.