



# Colheita de energia a partir de materiais piezelétricos

**Palavras-Chave:** Efeito piezelétrico, Supercapacitores, Geração de energia

**Autores(as):**

**Vinícius Azevedo Nascimento, FT- [UNICAMP]**

**MSc. Rodrigo Luís Ximenes, FT- [UNICAMP]**

**Prof. Dr. Francisco José Arnold, FT- [UNICAMP]**

---

## INTRODUÇÃO:

Este projeto tem como propósito medir e coletar a energia gerada através do efeito piezelétrico, onde é gerada eletricidade por meio de tensão mecânica. Essa energia coletada pode ser armazenada, e posteriormente aplicada em diversos equipamentos, utilizando-a de maneira reaproveitável. A geração de energia será realizada por meio de um transformador piezelétrico, essa energia será retificada através de um regulador de tensão e, posteriormente, armazenada em um supercapacitor. Será feito o monitoramento da tensão armazenada pelo supercapacitor através de um sistema automatizado, onde os valores de tensão serão armazenados e exibidos em gráficos em função do tempo. Para uma determinada força mecânica imposta sob o conjunto de cerâmicas, no entorno das frequências de ressonância do transformador piezelétrico, é realizado o carregamento do supercapacitor e observado o tempo de carga do supercapacitor.

A partir da carga completa do supercapacitor é possível alimentar pequenos dispositivos *wireless* [1], microcontroladores e dispositivos vestíveis, como relógios digitais [2]. O dispositivo de coleta e regulação da energia gerada será feita através do regulador de tensão LTC 3588 [3], onde a partir de uma determinada tensão em sua entrada, pode regular sua tensão de saída entre 1.8V até 3.6V com baixo consumo energético [4].

Conforme estudos feitos anteriormente no Laboratório de Instrumentação Eletrônica (LABIEL) da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, foi possível verificar na prática a geração de energia através de uma força empregada na cerâmica, que neste caso foi realizado através do lançamento de uma bola de borracha em uma certa altura sob a cerâmica, medindo a energia gerada pelo impacto [5].

## METODOLOGIA:

Para a realização do projeto foi desenvolvido um sistema composto por geração, coleta, armazenamento e monitoramento da energia piezelétrica. O esquema completo do sistema está representado na Figura 1.

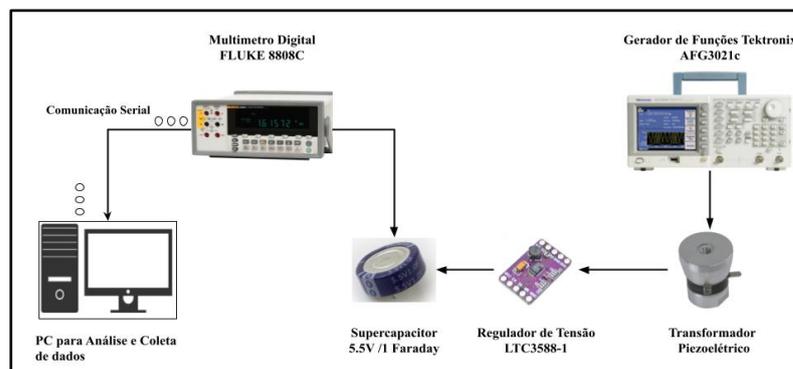


Figura 1: Esquático do sistema de geração e análise de energia

### 1) Geração e coleta de energia piezoelétrica.

A geração da energia piezoelétrica neste sistema faz uso de um conjunto de cerâmicas, configurados para funcionar como um transformador. O transformador piezoelétrico consiste em um atuador piezoelétrico como lado primário e um outro transdutor piezoelétrico como lado secundário sendo combinados entre si, onde a partir da excitação elétrica da cerâmica primária, devido ao efeito piezoelétrico, a energia elétrica imposta na primeira cerâmica causa deformações mecânicas, que excitam a cerâmica secundária, gerando assim energia elétrica novamente [6]. Utilizou-se um gerador de funções Tektronix AFG3021C, emitindo o sinal elétrico senoidal em uma dada frequência de ressonância na cerâmica primária. As ondas acústicas geradas pelo efeito piezoelétrico reverso alcançam a segunda cerâmica piezoelétrica, que por sua vez, por efeito piezoelétrico direto gera tensão de saída no lado secundário. Os lados primário e secundário estão acoplados entre si, funcionando como um terminal de terra comum, e a extremidade do lado primário e secundário foram isoladas eletricamente, para que gere o efeito do transformador piezoelétrico. Os elementos piezoelétricos utilizados como atuador (lado primário) e transdutor piezoelétrico (lado secundário), são discos de PZT (Titanato zirconato de chumbo), com 3.85cm de diâmetro e 0.65cm de espessura. A estrutura do transdutor apresenta dimensões de 8cm de altura, e 4.2cm de diâmetro.

A tensão gerada no lado secundário foi levada para um regulador de tensão, para retificar e regular a tensão produzida pelo efeito piezoelétrico. O regulador de tensão utilizado no projeto foi o LTC3588-1, que possui uma corrente quiescente de 950nA de entrada, faixa de operação de entrada de 2.7V até 20V, e com a opção de selecionar a tensão de saída entre 1.8V, 2.5V, 3.3V (valor padrão de fabricação), 3.6V. Após a energia elétrica ter sido regulada e retificada, ela foi direcionada para um supercapacitor, de 5.5V e capacitância de 1 Faraday. O transformador projetado para o trabalho está ilustrado na Figura 2.

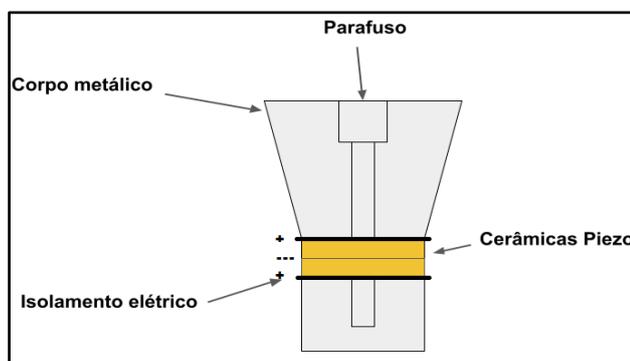


Figura 2: Transformador Piezoelétrico usado no projeto.

## 2) Medição e Análise da tensão gerada

A partir do sistema de geração e armazenamento da energia piezolétrica foi desenvolvido um sistema automatizado para coletar e armazenar os valores de tensão obtidos nos terminais do supercapacitor em tempo real e, posteriormente, os valores de carga do supercapacitor foram mostrados em forma de gráficos de tensão pelo tempo. O multímetro digital FLUKE 8808A foi o dispositivo responsável por exibir os valores de tensão na saída do supercapacitor com precisão de 5 dígitos decimais, em tempo real. Utilizando a comunicação serial disponível no multímetro digital, foi feita a comunicação serial entre o dispositivo e o computador, utilizando a linguagem de programação Python, permitindo assim que os valores exibidos no visor do multímetro fossem mostrados na IDE Pycharm e armazenados em documentos de texto no computador. Estes arquivos foram utilizados para a criação dos gráficos utilizando o Software Rstudio, onde foi desenvolvido outro código que fazia a plotagem dos resultados do carregamento do supercapacitor. O sistema de análise e coleta de dados em tempo real é mostrado na Figura 3.



Figura 3: Comunicação serial entre Computador e Multímetro Digital

## 3) Determinação da ressonância da cerâmica

Para obter os valores de ressonância do transformador piezolétrico, foram conectados os terminais do transformador piezolétrico diretamente em um resistor de  $100\Omega$ , e conectado a ele um osciloscópio Tektronix TDS1002 para coletar os valores de tensão em sua saída. A frequência de ressonância foi estimada a partir do maior valor de corrente passando pelo resistor, sendo um método eficaz, conforme realizado em testes prévios. Na frequência de ressonância, o carregamento do supercapacitor apresenta seu maior valor de tensão, isso se deve ao fato do conjunto ter a maior vibração mecânica nesta frequência, gerando por efeito piezolétrico maiores valores de tensão. Com todo o aparato e sistema construído e testado previamente, o procedimento de carga do capacitor foi montado com base em diversos testes, para diferentes frequências de ressonância em função do torque aplicado no transformador piezolétrico. As frequências de ressonância e anti-ressonância das cerâmicas piezolétricas podem ser deslocadas em função de um dado torque aplicado sob elas, pré-tensionando-as. Foi utilizado um torquímetro, para aplicar determinados torques no transformador piezolétrico, que apresenta em seu centro um parafuso que pode ser tensionado ou afrouxado, de acordo com o desejado. Para cada torque aplicado, foi obtida uma frequência de ressonância diferente [7]. Foram coletadas tensões em frequências ao redor desta ressonância para demonstrar os diferentes tempos de carga do supercapacitor. Para cada frequência utilizada no gerador de funções o experimento teve duração de 20 minutos para o carregamento do supercapacitor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Para cada valor de torque aplicado no transformador piezolétrico, obtemos uma diferente frequência de ressonância. A tabela I exibe os valores de ressonância para cada um dos torques analisados. As Figuras 4 a 7 apresentam as curvas de tensão de carregamento do supercapacitor em função do tempo para cada um dos torques aplicado e para frequências no entorno da ressonância.

Tabela I. Torque e ressonâncias

Torque aplicado (kgf.m)	Frequência de Ressonância (kHz)
0	19.7
1	20.7
2	22.7
3	23.3

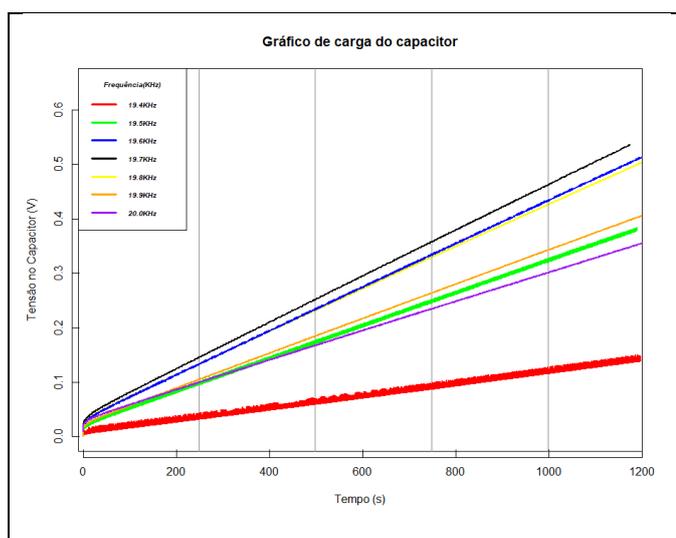


Figura 4. Carga do Capacitor sem torque aplicado.

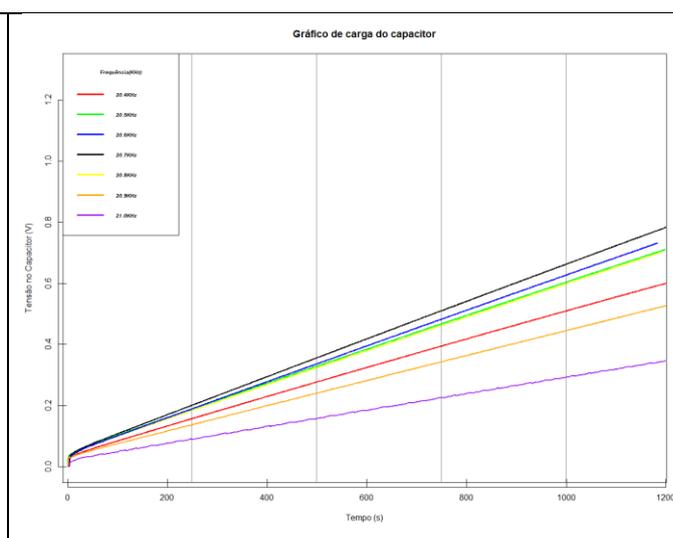


Figura 5. Carga do Capacitor com torque aplicado de 1 Kgf.m.

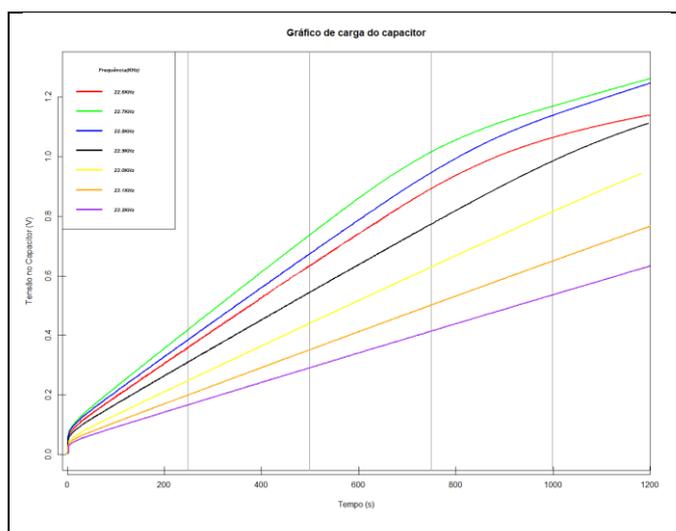


Figura 6. Carga do Capacitor com torque aplicado de 2 Kgf.m.

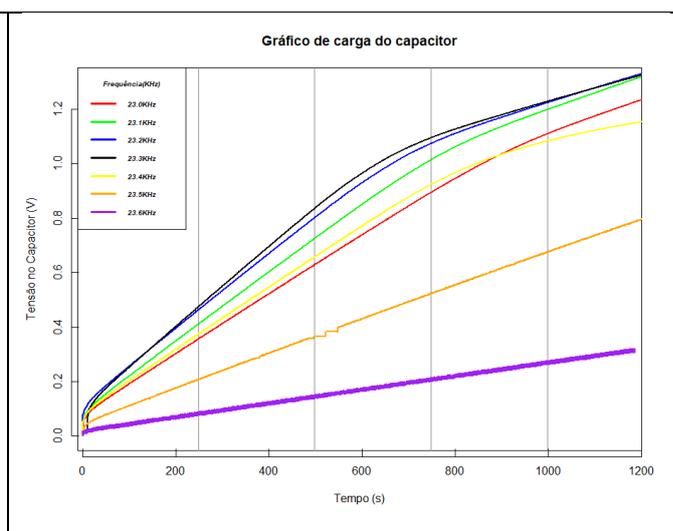


Figura 7. Carga do Capacitor com torque aplicado de 3 Kgf.m.

Utilizando o método explicado anteriormente para obter a frequência de ressonância, podemos verificar de acordo com os gráficos, que a frequência de ressonância realiza a maior carga do capacitor para um mesmo período de tempo analisado, e as frequências próximas da frequência de ressonância (maior vibração dos discos) apresentam valores de carga do capacitor relativamente próximos do melhor caso (frequência de ressonância). É possível observar também, que a medida que um diferente valor de torque é aplicado ao sistema, obtemos um deslocamento na frequência de ressonância e anti ressonância do transformador piezelétrico. Além disso, o valor de tensão gerado em um curto período de tempo pode ser reutilizado para alimentar outros dispositivos portáteis e de baixa necessidade energética.

## **CONCLUSÕES:**

O sistema desenvolvido é capaz de desenvolver de forma automática a coleta de dados em tempo real de maneira eficiente e confiável, bem como o método de obtenção da frequência de ressonância a partir do valor de corrente sob o resistor se mostrou satisfatório e exato. Com o carregamento do supercapacitor sendo possível a partir da energia gerada pela cerâmica secundária, e posteriormente retificada e regulada pelo LTC 3588, é possível reaproveitar a energia desperdiçada comumente no sistema de transformador piezelétrico, melhorando a eficiência do sistema, e sendo possível utilizar em futuras aplicações práticas. Portanto, conclui-se que o carregamento do supercapacitor é eficaz quando utilizado a frequência de ressonância do sistema com exatidão, entretanto sendo restrito aplicar esta energia para pequenos dispositivos.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Cao, X.; Chen, J.; Zhang, Y.; Sun, Y. Development of an integrated wireless sensor network micro-environmental monitoring system. *ISA Trans.*, vol. 47, p.247–255, (2008).
- [2] A. Bharathi Sankar Ammaiyappan and Seyezhai Ramalingam *IOP Conf.Ser.: Earth Environ. Sci.* Vol. 850 012016. (2021)
- [3] LTC3588-1 - Nanopower Energy Harvesting Power Supply (analog.com). Acesso em: 28/02/2023
- [4] L. Wang, W. Lin, Q. Wen, L. Xie, Y. Xie, *Procedia Comput. Sci.* vol.155, p.752. (2019)
- [5] SILVA, S.M., ARNOLD, F. J. Construção de um dispositivo para produção de energia elétrica por efeito piezelétrico, XXVII Congresso de Iniciação Científica Unicamp, Campinas, SP, n.27, out. (2019).
- [6] BARROS, Marcelo Henrique Martins de. Modelagem, simulação e otimização de transformadores piezelétricos de modo radial para aplicações em conversão de potência. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.
- [7] F. J. ARNOLD, P. S. MARTINS, New insights into the mechanical pre-stressing of piezotransducers, *Journal of Intelligent. Systems Materials and Structures*, 32(8), 867-879, (2021).