

# MODELO SIMPLIFICADO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE ESTRUTURAS INTELIGENTES

Jairo Vinícius Lavarda, [jairolavarda@gmail.com](mailto:jairolavarda@gmail.com), Samuel da Silva, [samuel.silva@unioeste.br](mailto:samuel.silva@unioeste.br)

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Centro de Engenharias e Ciências Exatas (CECE), Av. Tarquínio Joslin dos Santos, n°. 1300, CEP 85870-900, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

**RESUMO:** Este trabalho tem como meta validar um modelo matemático com um grau de liberdade para predição da potência elétrica que pode ser extraída de uma cerâmica piezolétrica colada em uma estrutura vibrante. Este sistema é utilizado para representar o primeiro modo de vibrar de uma viga inteligente com um PZT colado. Simulações numéricas seguidas de experimentos são feitas para várias cargas resistivas ligadas aos terminais da cerâmica, comparando as funções de resposta em frequência e a potência extraída. Os resultados mostram que o modelo é adequado para uma primeira aproximação.

**PALAVRAS-CHAVE:** estruturas inteligentes, extração de potência, PZT

**ABSTRACT:** This work aims validate a single degree of freedom mathematical model to predict the electrical power that can be harvested from a piezoelectric ceramics attached on a vibrating structure. This system represents the first vibration mode of a smart beam with a PZT attached. Numerical simulations followed by experiments were done with various resistive loads connected on ceramics terminals, comparing frequency response functions and the power harvested. The results show that model is a good first approximation.

**KEYWORDS:** smart structures, power harvesting, PZT

## INTRODUÇÃO

Um tema que se tornou recorrente na literatura é *power harvesting* ou extração de potência (Sodano *et al.*, 2004) que pode ser feita com materiais piezolétricos, neste caso PZTs, que são cerâmicas que geram um campo elétrico quando deformadas, colados em estruturas vibrantes.

Com a popularização da tecnologia *wireless* e uma diminuição do consumo de potência dos circuitos eletrônicos e dos sensores, dispositivos de extração de energia tornaram-se atrativos, pois fornecem a esses circuitos um funcionamento praticamente indefinido, algo que não é alcançado com baterias em instalações remotas.

Neste sentido, um modelo equivalente de um grau de liberdade é utilizado para descrever o comportamento de uma viga engastada com a cerâmica piezolétrica. Após realizada a simulação, testes experimentais são feitos e apresentados para validar o modelo utilizado comparando as potencias elétricas geradas experimentalmente e via modelo.

## METODOLOGIA

O primeiro modo transversal de vibrar de uma viga de alumínio engastada pode ser descrito por um modelo massa-mola-amortecedor equivalente (Erturk *et al.* 2008).



Figura 1. Esquema da viga com o PZT

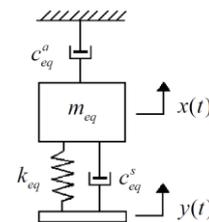


Figura 2. Modelo massa-mola-amortecedor equivalente

A frequência natural do modelo é calculada pela Eq. (1).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}} \quad (1)$$

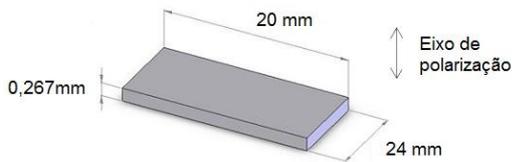
Sendo a rigidez equivalente  $k_{eq} = \frac{3Y_v I_v}{L_v^3}$ , com  $Y_v$  sendo o módulo de elasticidade do material [N/m<sup>2</sup>],  $I_v$  o momento de inércia de área [m<sup>4</sup>]. A massa equivalente é  $m_{eq} = \frac{33}{140} m_d L_v$ , sendo  $m_d$  a massa distribuída ao longo da viga [kg/m<sup>3</sup>].

O deslocamento relativo entre a base  $y(t)$  e a ponta livre da viga  $x(t)$  é descrita por  $z(t) = x(t) - y(t)$  na Eq. (2),

sendo  $c_{eq} = c_{eq}^a + c_{eq}^e$  a soma dos amortecimentos.

$$z(t) = \frac{\omega^2 m_{eq} - j\omega c_{eq}^a}{k_{eq} - \omega^2 m_{eq} + j\omega c_{eq}} Y_o e^{j\omega t} \quad (2)$$

Um esquema da cerâmica piezelétrica é mostrado na Fig. (1). A equação constitutiva global que descreve a relação entre a força aplicada e a tensão gerada é dada por:



**Figura 3.** Esquema da cerâmica PZT utilizada

$$\begin{Bmatrix} f \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{C_{mt}} & -D_{31} \\ -D_{31} & \frac{1}{C_{et}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_{mt} \\ q_{et} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

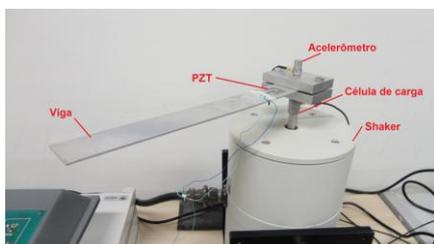
sendo:  $f$  - força [N];  $v$  - tensão elétrica [V];  $D_{31}$  - constante de transdução piezelétrica [V/m];  $C_{mt}$  - compliância mecânica com circuito aberto [m/N];  $C_{et}$  - capacitância elétrica de transdução para geometria fixa [F];  $q_{mt}$  - deflexão mecânica [m];  $q_{et}$  - carregamento elétrico [C].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da Eq. (1), a frequência natural da viga foi encontrada,  $F_{ns} = 18,9\text{Hz}$ , sendo o valor experimental  $F_{ne} = 18,6\text{Hz}$  a experimental. Os equipamentos utilizados são mostrados na Fig. (4) e a viga em detalhe na Fig. (5).



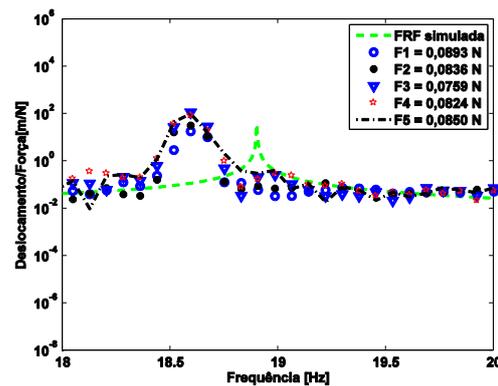
**Figura 4.** Bancada experimental



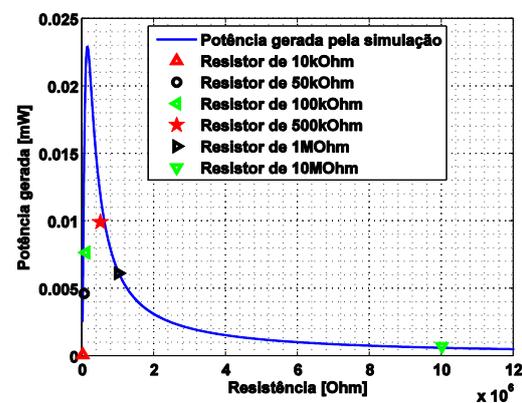
**Figura 5.** Detalhe da viga

As funções de resposta em frequência (FRF) simulada e experimentais são apresentadas na Fig. (6), para uma resistência de 10MΩ.

A Fig. (7) mostra a potência extraída para uma faixa de resistências, ocorrendo um máximo de  $2,3\mu\text{W}$  em 142kΩ.



**Figura 6.** FRF simulada e experimental



**Figura 7.** Potência elétrica consumida

## CONCLUSÃO

Há uma diferença nas frequências das FRF, porém com boa aproximação pela simplicidade do modelo. Um ajuste foi feito no amortecimento da viga com os dados experimentais. A potência gerada é baixa, mas sendo retificada pode-se alimentar circuitos de baixa potência.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa PIBIC. Os autores agradecem a Fundação Araucária, Secretária de Estado de Ciência e Tecnologia (SETI) do Paraná e CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- Erturk, A. e Inman, D. J., 2008, "Issues in mathematical modeling of piezoelectric energy harvesters". Smart Materials and Structures, 17:065016.
- Sodano, H. A.; Inman, D. J.; Park, G., 2004, "A review of power harvesting from vibration using piezoelectric materials", The Shock and Vibration Digest, v. 36, p. 197-205.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.