



## COLHEITA DE ENERGIA COM MICROESTRUTURA APORTICADA SUJEITA A EXCITAÇÕES DE FREQUÊNCIAS VARIÁVEIS

THANITY BRAUN KAUFMANN<sup>1,2</sup>, JORGE LUIS PALACIOS FELIX<sup>2,3</sup>

### 1 Introdução/Justificativa

Uma das recentes novidades são das propostas da colheita de diferentes tipos de energia do ambiente e convertê-las em energia elétrica a partir do conceito de Energy Harvesting. Este método consiste nas deformações ou vibrações mecânicas dos piezoelétricos com saídas de tensão elétrica. Em vibrações mecânicas o fenômeno de ressonância acontece quando um sistema físico recebe energia por meio de excitações de frequência igual a uma de suas frequências naturais de vibração causando desastres de certas estruturas de escala maior. Porém, existem materiais flexíveis em microescala que suportam grandes deformações e oscilações como são os piezoelétricos que podem gerar energia a partir do efeito da ressonância em resposta de excitações do ambiente. Ademais, é considerado outro fenômeno de ressonância interna de relação 1:2 entre dois modos de vibração de um sistema físico. Nessa linha de pesquisa existem trabalhos que aproveitam a ressonância interna em microestrutura de configuração de tipo L (LIU et al. 2017). Nesse contexto, se propõe uma microestrutura aporticada de três vigas flexíveis com piezoelétricos acoplados e sujeita a uma excitação de frequência variável para este fim utilizou-se uma massa rotativa gerada por um micromotor posicionado no topo do sistema. Os dados foram obtidos através de várias simulações numéricas utilizando o integrador de Runge-Kutta de quarta ordem com passo variável.

### 2 Objetivos

Converter as energias das vibrações mecânicas com ressonância interna em energia

1 Acadêmica de Engenharia Ambiental e Sanitária, instituição UFFS, *campus Cerro Largo*, contato: thanity.kaufmann@gmail.com

2 Grupo de Pesquisa em Recursos Energéticos e Tecnologias Limpas - GPTEC, da Universidade Federal da Fronteira Sul

3 Doutor em Engenharia Mecânica pela UNICAMP. Professor efetivo do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) *campus Cerro Largo*, RS. E-mail: jorge.felix@uffs.edu.br.

elétrica de uma microestrutura aporticada com piezoelétricos.

### 3 Material e Métodos/Metodologia

Sob a força de excitação de frequência variável tem-se o comportamento dinâmico da microestrutura aporticada flexível contendo os piezoelétricos definida pelas equações diferenciais não lineares:

$$\ddot{x} + 2\zeta_1\dot{x} + \omega_1^2x + \alpha_1xy - \chi v = f_0 \cos(\Omega_0 + a_0 \sin(b_0\Omega_0t + c_0)) \quad (1)$$

$$\ddot{y} + 2\zeta_2\dot{y} + \omega_2^2y + \alpha_2x^2 - \chi v = g_0 \sin(\Omega_0 + a_0 \sin(b_0\Omega_0t + c_0)) \quad (2)$$

$$\dot{v} + \lambda v + \kappa\dot{x} + \kappa\dot{y} = 0 \quad (3)$$

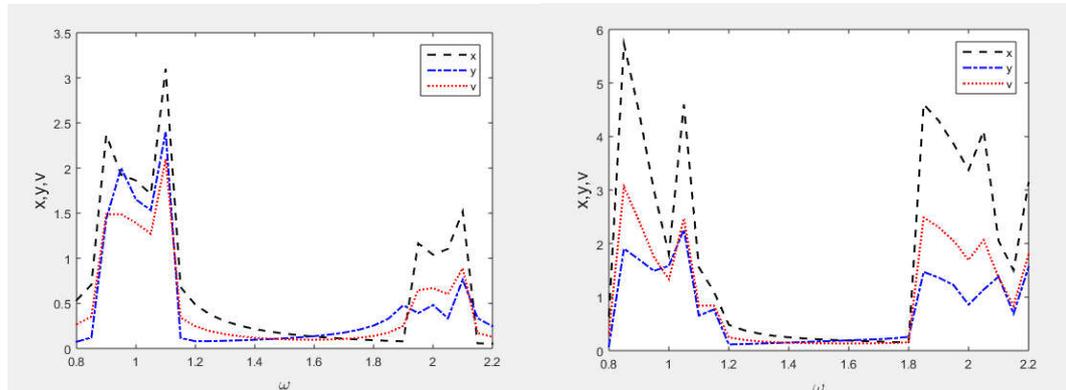
A massa rotativa produz dois movimentos do micropórtico, uma na direção horizontal representada pela resposta  $x$  e outra na direção vertical representada pela resposta  $y$ .

Enquanto a saída da voltagem é através dos piezoelétricos e representada pela resposta  $v$  cuja equação elétrica é similar de (LEADENHAM, S. & ERTURK, 2015) e a conexão em série dos dois piezoelétrico tem por modelo de (ERTUK et al. 2008).

### 4 Resultados e Discussão

A Figura 1 descreve a resposta das amplitudes máximas das séries temporais dos modos de vibração da microestrutura aporticada e da saída de tensão total dos dois piezoelétricos para dois tipos de excitação, uma de frequência constante (EFC) correspondente a excitação harmônica quando  $a_0 = 0$ , ver Figura 1(a) e a outra de frequência

variável (EFV) quando  $a_0 \neq 0$  e  $b_0 \neq 0$ , ver Figura 1(b).



(a)

(b)

Figura 1. Respostas do conjunto microestrutura aporcada/piezoelétricos (a) com excitação harmônica e (b) com excitação de frequência variável

O comportamento dinâmico da colheita de energia consiste na da passagem da região de ressonância (quando a frequência de excitação  $\omega = \Omega_0$  está próxima da frequência natural

da viga vertical  $\omega = \omega_1$ ) resulta que a saída de voltagem em média de 1,5 volts para (EFC) e

de 2,5 volts para (EFV). Agora, quando a frequência de excitação está próxima da frequência natural da viga horizontal  $\omega = \omega_2$  ou está na passagem da segunda região de ressonância, as

amplitudes de oscilação da viga horizontal ficam estagnadas enquanto as amplitudes de oscilação da viga vertical da microestrutura aporcada cresce drasticamente. Neste caso, aconteceu o fenômeno de saturação ou uma transferência de energia entre os modos de vibrar das vigas. Na medição da saída de voltagem seria em média de 0.6 volts para (EFC) e para 2,5 volts para (EFV).

## 5 Conclusão

Foi desenvolvida numericamente a colheita de energia usando as vibrações da microestrutura aporcada através dos piezoelétricos fixados na superfície vertical e horizontal. Observou-se nos resultados que a resposta para uma excitação de frequência



variável teve melhor desempenho em comparação com a excitação harmônica ou excitação de frequência constante. O efeito das ressonâncias externa e interna produz crescentes amplitudes de oscilação da viga vertical. Em média de 2,5 volts foi o desempenho do sistema de colheita de energia para o caso de excitação de frequência variável entorno da segunda região de ressonância enquanto para excitação harmônica foi em média de 0,6 volts.

### Referências

1. LIU, D.; AL-HAIK, M.; ZAKARIA, M.; HAJJ, M.R. Piezoelectric energy harvesting using L-shaped structures. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 29(6), 1206-1215, 2017.
2. FELIX, J.L.P.; BIANCHIN, R.P.; ALMEIDA A.; BALTHAZAR, J.M.; ROCHA, RT; BRASIL, R.M.L.R.F. **On energy transfer between vibration modes under frequency-varying excitations for energy harvesting.** In: International Conference on Engineering Vibration (ICoEV2015) held in Ljubljana, Slovenia, in September 7 - 10, 2015.
3. LEADENHAM, S.; ERTURK, A. **Nonlinear M-shaped broadband piezoelectric energy harvester for very low base accelerations: primary and secondary resonances.** *Smart Materials and Structures*, 24(5), 055021 (14pp), 2015.
4. ERTURK, A.; RENNO, J. M.; INMAN, D. J. **Modeling of Piezoelectric Energy Harvesting from an L-shaped Beam-mass Structure with an Application to UAVs.** *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 20(5), 529–544, 2008.

**Palavras-chave:** Coleta de energia; microestrutura aperturada; piezoelétricos; excitação de frequência variável; ressonância interna.

### Financiamento

Bolsa CNPq/UFFS período 2018-2019.