

PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL A PARTIR DE ÁRVORES ARTIFICIAIS INDUZIDAS PELO VENTO

DOI:10.19177/rgsa.v7e22018452-464

Jorge Luis Palacios-Felix¹

Jandira Leichtweis²

Aline de Oliveira Schonarth³

Juliano Roberto Alves Garcia¹¹

RESUMO

O desenvolvimento acelerado das atividades antrópicas e seu consequente impacto no meio ambiente tem evidenciado a necessidade de preservar os recursos naturais e buscar constantemente por novas fontes de energia limpa e renovável. Dentre essas, destaca-se a coleta de energia “Energy Harvesting”, que consiste em capturar energia mecânica presente no ambiente e convertê-la em energia elétrica. A microgeração de energia através dos fenômenos do fluxo eólico vem sendo uma área de grande interesse da sociedade para aplicações em diversas situações. Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma plataforma de energia eólica de pequeno porte, baseada nas vibrações de piezoelétricos induzidos pelo vento e, assim, obter-se dados gráficos a partir de um osciloscópio digital para analisar a voltagem adquirida. No experimento, utilizou-se um ventilador convencional com velocidade máxima de $5,05 \text{ ms}^{-1}$ para produção de fluxo de vento e um polímero piezoelétrico com capacidade de alcance de 25 volts para geração de energia. Para obter melhores resultados acoplou-se um material de plástico de três dimensões: $08 \times 10 \text{ cm}$; $10 \times 10 \text{ cm}$; e $10 \times 12 \text{ cm}$ ao polímero piezoelétrico com finalidade de aumentar a sua vibração e de avaliar as respostas obtidas. Os resultados obtidos foram de voltagens não harmônicas de amplitudes desiguais e maiores (picos). A configuração de $10 \times 12 \text{ cm}$ com posição do piezoelétrico no centro superior da estrutura plástica obteve em sua maioria valores de voltagem superiores aos demais, ou seja, se mostrou mais eficiente na obtenção de energia elétrica.

Palavras-chave: Meio ambiente. Energia renovável. Coleta de energia. Vento.

¹ 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

² Graduanda de Engenharia Ambiental e Sanitária, Bolsista da FAPERGS na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) *Campus* Cerro Largo, RS. E-mail: jandytweis@hotmail.com

³ Graduanda de Engenharia Ambiental e Sanitária, Bolsista da FAPERGS na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) *Campus* Cerro Largo, RS. E-mail: alineschonarth@hotmail.com

¹¹ Mestrando no Programa de Pós Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) *Campus* Cerro Largo, RS. E-mail: julianorogarcia@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O planeta Terra vem sofrendo bruscamente com a ação do ser humano ano após ano, ocasionada pelo mau uso dos recursos naturais, no qual é intitulado por FOSTER (2010) como “crise da socioecologia”, acentuada principalmente a partir do século XIX, quando a Revolução Industrial ganhou força em todo o mundo. Verificou-se como consequência o aumento do consumo de energia e com os recursos naturais se esgotando rapidamente dando origem ao que se pode chamar de “crise energética”.

A reflexão dessa crise ao longo dos tempos tem como principal e maior causa o fato da humanidade ser uma grande consumidora de energia, na maioria das vezes consumindo mais do que realmente necessita e explorando as fontes de energia não renováveis, como o carvão, o gás natural e o petróleo, mais do que podem ser produzidas pela natureza para que haja um equilíbrio perfeito. O fato das energias não renováveis serem finitas e poluentes está empurrando ao desequilíbrio ambiental, a ciência e tecnologia estão investimento na sustentabilidade através da disseminação de fontes de energias renováveis compatíveis com a preservação da integração fundamental dos sistemas naturais e evite mudanças climáticas catastróficas. Entre as energias renováveis utilizadas para transformação direta em eletricidade, sem desmerecer as outras, destacam-se a energia eólica baseada no aproveitamento do fluxo do vento através de aerogeradores e a energia solar baseada no aproveitamento da luz e calor do sol através das células fotovoltaicas. (TORRES, 2012; FAPESP, 2010; CAMILLO, 2013).

Nesse sentido, vários estudos vêm sendo desenvolvidos na atualidade na área de geração de energias renováveis provindas do meio ambiente (solar, térmica, eólica, cinética, vibrações, eletromagnética, entre outras), alternativas à energia elétrica, mas ainda são pouco utilizados (GONÇALVES, 2011). Uma recente fonte de energia promissora é a coleta de energia a partir de vibrações existente no meio ambiente. A técnica de coleta e armazenamento desse tipo de energia é conhecida na literatura como “Energy Harvester” (KHALIGH et al., 2010; RANGEL, 2014; MOREIRA FILHO, 2014).

O efeito da piezoelectricidade foi descoberto pelos irmãos Currie em 1880, os quais demonstraram que era possível a geração de um potencial elétrico quando

certos tipos de cristais, como o quartzo, recebiam uma tensão mecânica. Mas não se imaginava que o efeito contrário também pudesse ocorrer nestes cristais, ou seja, a aplicação de um campo elétrico resultaria numa deformação mecânica do cristal. Esta descoberta dos materiais de efeito piezoelétrico são usualmente usados como sensores e atuadores (CROSS; HEYWANG, 2008; SODANO et al., 2004; MINETO, 2013).

Uma das áreas de pesquisa do processo de geração e armazenamento de energia elétrica a partir de fontes renováveis que vem crescendo consideravelmente abrange a energia proveniente de vibrações mecânicas baseados em materiais piezoelétricos aplicados nas áreas de construção civil, sistemas mecânicos, eletromecânicos, dentre outras. Modelos diversos de materiais piezoelétricos por possuírem a capacidade de gerar eletricidade ao serem deformados são estudados por meio analítico e experimental (ANTON; SODANO, 2007; COOK et al., 2008; ERTURK; HOFFMAN; INMAN, 2009; ERTURK; INMAN, 2009; PRIYA; INMAN, 2009).

Existem muitos mecanismos renováveis que são provenientes do vento, como a energia eólica convencional que produz energia elétrica ou mecânica, através da conversão da energia cinética. A captação pode se dar por aerogeradores, que são formados por geradores e turbinas, acionando alternadores, que transformam a energia do vento em energia elétrica (ALMEIDA, 2013). Além disso, existem outros meios de utilizar o vento, como por meio de papagaios ou paraquedas turbinados.

O projeto de um gerador semelhante a uma árvore artificial para colheita de energia eólica é uma inovadora tecnologia, foco principal dessa pesquisa. As folhas são feitas de materiais piezoelétricos poliméricos que irão coletar a energia da vibração induzida pelo vento, viabilizando a coleta de energia a partir do vento em espaços restritos, como no entorno de edifícios. A placa flexível e a película são conduzidas para oscilar da mesma forma que uma folha movida pelo vento, e o movimento de agitação é atribuído pela instabilidade do sistema aeroelástico, acionando o efeito piezoelétrico e produzindo energia (THORNTON, 2011; SUNDARARAJAN et al., 2012; KARTHIKEYAN; MANIARASAN; BHARATH, 2014; KIM et al., 2015; ORREGO et al., 2017; DEMIR; ANUTGAN, 2017).

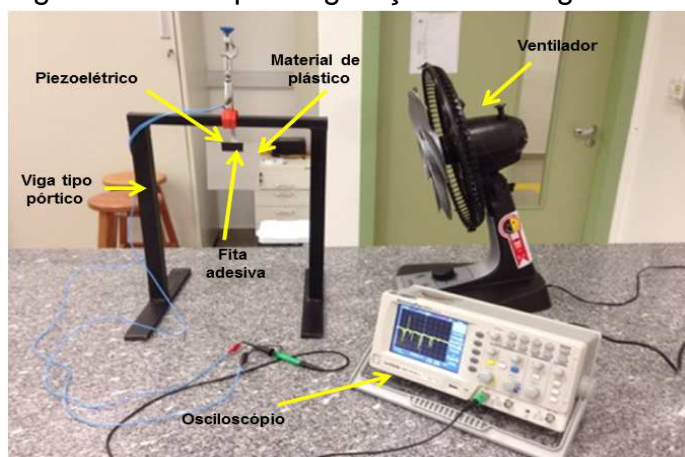
Sendo assim, este artigo tem por objetivo, a partir do trabalho de Li e Lipson (2009), projetar uma plataforma de energia eólica de pequeno porte, baseado nas vibrações de materiais piezoelétricos poliméricos induzidas pelo vento. Com a

realização deste estudo, pretende-se trazer maior motivação e conscientização em relação à energia limpa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Na Figura 1 mostra o protótipo utilizado no laboratório de Eletromagnetismo e Óptica da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Cerro Largo- RS*. O protótipo consiste de um pórtico rígido que serve de suporte para o piezoelétrico com fios de eletricidade soldados na sua base sendo fixados com pequenos “jacarés” deixando livre no outro extremo. Utilizou-se fita isolante para auxiliar na fixação dos fios de eletricidade no suporte projetado e acoplar uma extensão de plástico retangular no extremo livre do piezoelétrico. Uma garra auxiliou na fixação dos fios na viga.

Figura 1: Protótipo da geração de energia elétrica



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Utilizou-se o polímero piezoelétrico PVDF (Fluoreto de Polivinilideno) LDT0-028K tipo viga ‘cantilever’ flexível da MEAS – SPEC.COM como mostra a Figura 2. Fixou-se no extremo livre da estrutura piezoelétrico um material de plástico com diferentes dimensões para auxiliar na vibração do mesmo. O vento utilizado para vibrar o piezoelétrico proveio de um ventilador comercial de mesa contendo seis pás (ARNO) com velocidade fixa de $5,05 \text{ ms}^{-1}$ dentro da faixa de velocidade do vento $2 - 8 \text{ ms}^{-1}$ conforme Li e Lipson (2009). A medição do vento do ventilador deu-se por um anemômetro digital (MDA - 20, Ininipa).

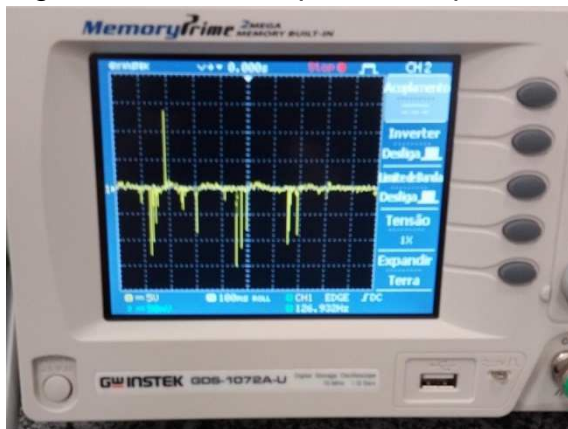
Utilizou-se um multímetro digital (ICEL Manaus, MD - 6160) para mensurar os volts emitidos pelo piezoelétrico quando deformado pelo vento. Para maior precisão e obtenção de gráficos da saída de voltagem em função de tempo para análise usou-se um osciloscópio digital (GW INSTEK, GDS – 1072 A – U, MemoryPrime) como mostra a Figura 3.

Figura 2: Material Polímero Piezoelétrico LDT0 com suporte de material plástico.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Figura 3 – Osciloscópio com captura de saídas de voltagem.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

A Figura 4 mostra as diferentes configurações geométricas dos plásticos retangulares flexíveis para reforçar a deformação do piezoelétrico com a finalidade de produzir as ótimas saídas de voltagem de acordo com Sundararajan et al. (2012).

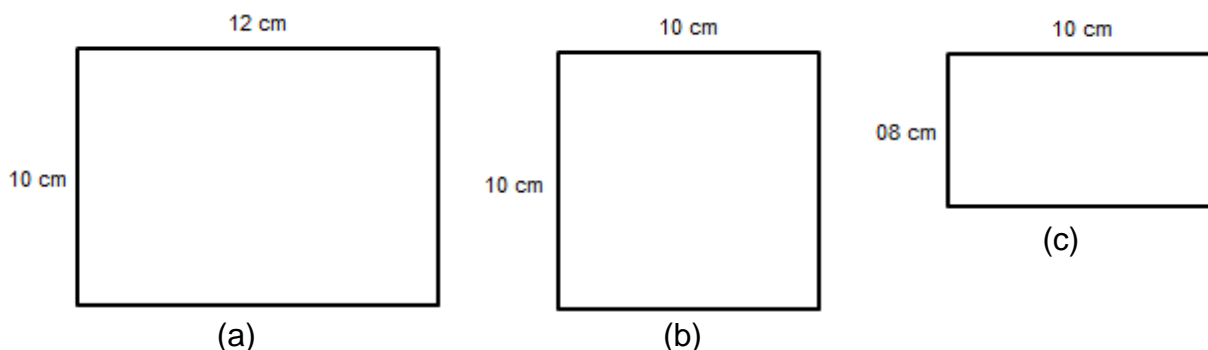
Definiram-se as seguintes identificações das configurações geométricas para serem acoplados no extremo livre do piezoelétrico:

CG 1: Configuração Geométrica de 10 x 12 cm.

CG 2: Configuração Geométrica de 10 x 10 cm.

CG 3: Configuração Geométrica de 8 x 10 cm.

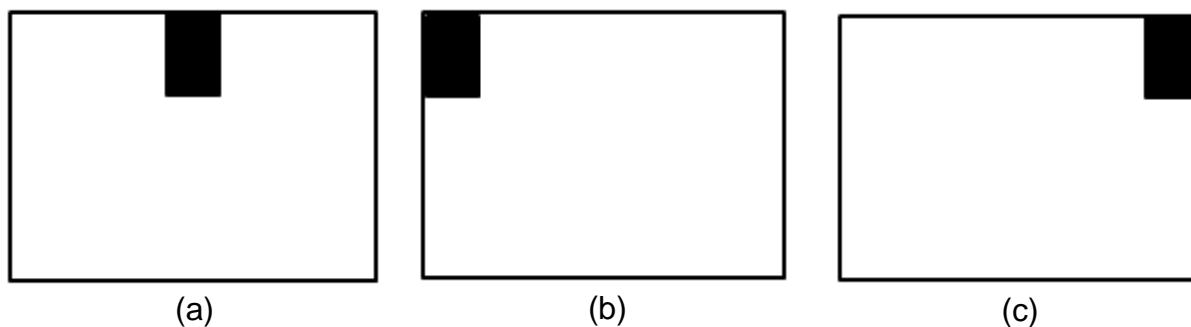
Figura 4 – Diferentes formatos do plástico flexível acoplados ao piezoelétrico.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Assim como na pesquisa de Sundararajan et al. (2012), trabalhou-se os ensaios experimentais com várias formas de posição do piezoelétrico fixado no plástico retangular com referência ao ventilador, como pode-se observar na Figura 5.

Figura 5 – Posições do piezoelétrico sobre o plástico: a) no meio, b) no canto superior esquerdo, c) no canto superior direito



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Foram definidas as seguintes identificações referentes às posições do piezoelétrico no plástico retangular:

PPa: Posição no meio.

PPb: Posição no canto esquerdo (frontal em relação ao ventilador).

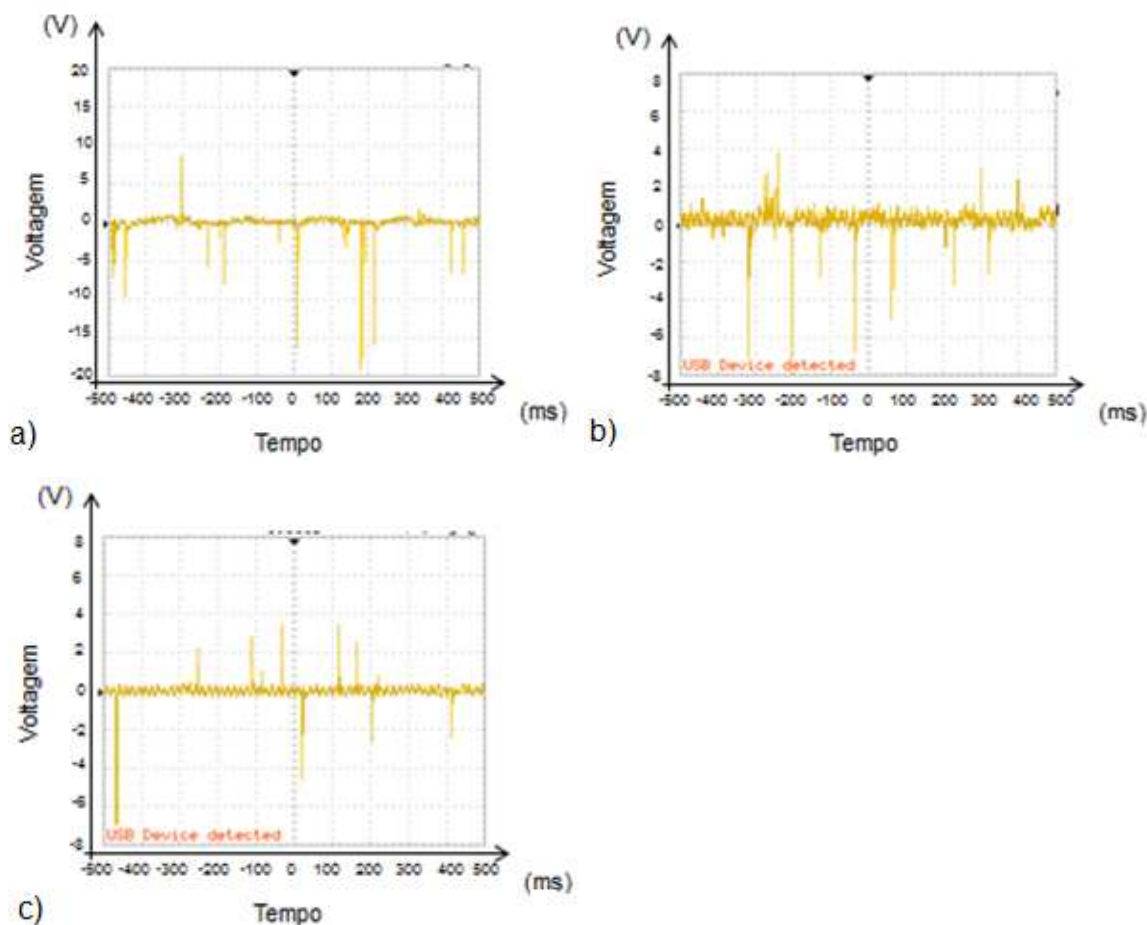
PPc: Posição no canto superior direito (por trás em relação ao ventilador).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para visualização e análise das saídas de curvas da voltagem em função do tempo no osciloscópio optou-se pelas seguintes escalas de 2 e 5 volts por cada quadradinho correspondente ao eixo vertical enquanto no eixo horizontal foi considerado como tempo em milissegundos (ms).

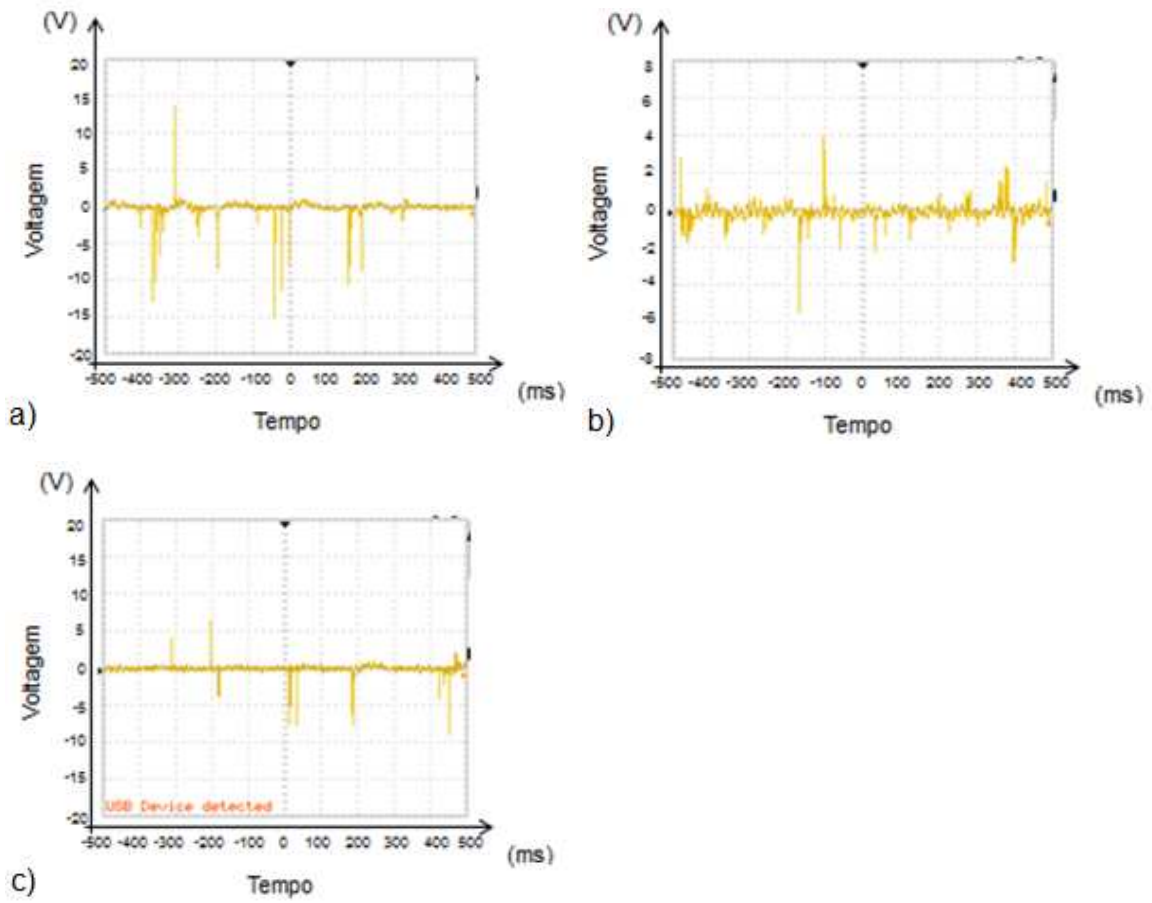
Nas Figuras 5-7 mostram as saídas de voltagem capturadas na tela do osciloscópio digital e logo foram gravados e inseridos no computador. Os eixos de sistema cartesiano foram desenhados no entorno de cada imagem com a finalidade de identificação das medidas das escalas de voltagens e tempo. Após vários ensaios foi definida uma distância de 15 cm entre o ventilador e o pórtico que suporta o piezoelétrico com o intuito de obter oscilações adequadas no entorno do eixo de referência ou de equilíbrio.

Figura 5 – Saída de voltagem com CG1: (a) PPa, (b) PPb, (c) PPc



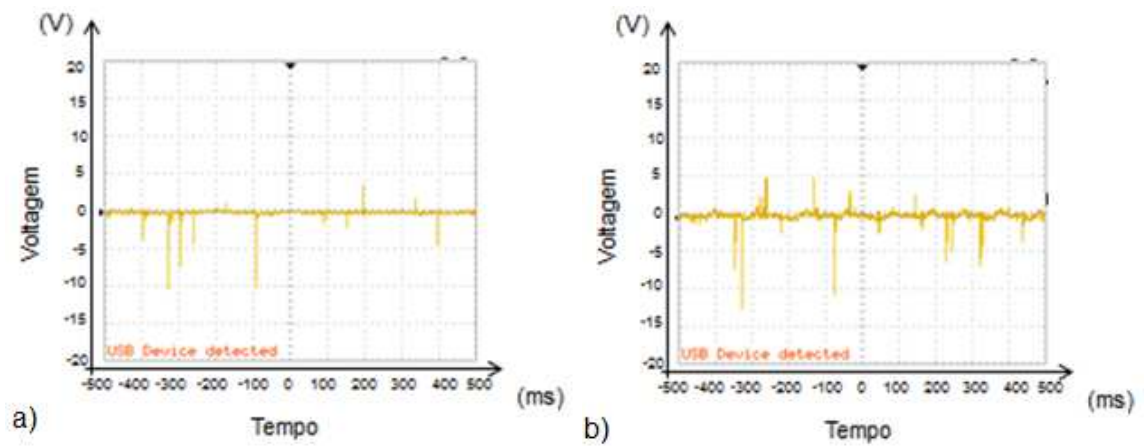
Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

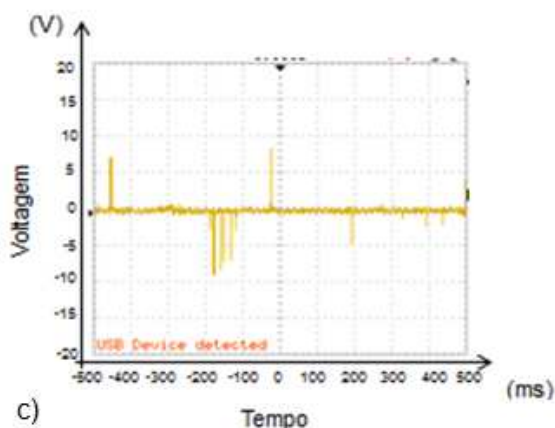
Figura 6 – Saída de voltagem com CG2: (a) PPa, (b) PPb, (c) PPc



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Figura 7 – Saída de voltagem com CG3: (a) PPa, (b) PPb, (c) PPC





Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Nos picos de tensão que predominam no intervalo de tempo entre -500 e 500 ms comprova as maiores amplitudes de deformação dos plásticos retangulares influenciando nas vibrações do piezoelétrico sob a excitação aleatória induzida pelo fluxo do vento. Neste caso mostra-se a dinâmica não harmônica da colheita de energia em resposta a excitações aleatórias de frequências variáveis em lugar de respostas harmônicas sob uma excitação periódica de uma única frequência constante muito citado na literatura.

Comparando os resultados em relação aos picos de tensão, obteve-se melhor desempenho de saída de tensão (10, 15 e 19 volts) quando utilizou-se o plástico retangular de medidas 10 x 12 cm com posição do piezoelétrico no centro superior. Aproxima-se do resultado do trabalho de Sundararajan et al. (2012), que obteve 2,5 volts para uma velocidade do vento de $11,5 \text{ ms}^{-1}$ para uma configuração de 5 x 10 polegadas com piezoelétrico posicionado no centro. A segunda melhor configuração foi o dispositivo plástico de suporte do polímero piezoelétrico com configuração quadrada 10 x 10 cm com posição do piezoelétrico no centro superior.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos a partir da ação do vento com uma única velocidade de $5,05 \text{ ms}^{-1}$ pode-se coletar diversas amplitudes de tensões de energia elétrica de características não harmônicas através do piezoelétrico PVDF

LDT0 de pequeno porte. Ademais, para futuros experimentos buscar-se-á considerar diferentes velocidades do vento para aperfeiçoar a pesquisa.

Para dar uma forma de folha de árvore, realizou-se a colagem de materiais retangulares de plástico flexível de diferentes medições no extremo livre do piezoelétrico para obter maior eficiência de oscilações e saída de voltagem. Comparando os resultados de voltagens não harmônicas de amplitudes diferentes e maiores (picos), verificou-se que o material de plástico de dimensões 10 x 12 cm com posição do piezoelétrico no centro superior obteve várias voltagens maiores em torno de 15 e 19 volts, ou seja, se mostrou mais eficiente na obtenção de energia elétrica. Para um futuro trabalho pretende-se projetar uma árvore com folhas de piezoelétricos para proporcionar uma soma de voltagens.

RENEWABLE ENERGY PRODUCTION FROM WIND-INDUCED ARTIFICIAL TREES

ABSTRACT

The accelerated development of anthropic activities and their consequent impact on the environment has highlighted the necessity to preserve natural resources and constantly search for new sources of green and renewable energy. Among these, Energy Harvesting is distinguished, which consists of capturing mechanical energy present in the environment and converting it into electrical energy. The micro generation of energy through the phenomena of wind flow has been an area of great interest for society for applications in diverse situations. Given this context, the aim of this study is to present a small wind energy platform, based on the vibrations induced by wind of piezoelectric materials and thus obtain graphical data from a digital oscilloscope to analyze the voltage acquired. In the experiment, a conventional fan with a maximum velocity of 5.05 ms^{-1} was used to produce wind flow and a piezoelectric polymer with a capacity of 25 volts was used for power generation. For best results, a plastic material of three dimensions was coupled: 08 x 10 cm; 10 x 10 cm; and 10 x 12 cm to the piezoelectric polymer, in order to increase its vibration and to evaluate the obtained data. The results obtained were of non-harmonic voltages of unequal amplitudes and higher (peaks). The configuration of 10 x 12 cm, with the position of the piezoelectric in the upper center of the plastic structure, obtained higher voltages than any other configuration, proving to be the most efficient at generating electric energy.

Keywords: Environment. Renewable energy. Harvesting energy. Wind.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. S. **Conversão das vibrações provenientes do vento em electricidade**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis – Conversão Eléctrica e Utilização Sustentáveis) - Universidade Nova de Lisboa, Curso de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Lisboa. 2013. Disponível em: < <https://run.unl.pt/>>. Acesso em 9 jul. 2015.

ANTON, S. R; SODANO, H. A. A review of power harvesting using piezoelectric materials. **Smart Materials and Structure**, v.16, n.3, p. R1–R21, 2007.

CAMILLO, E. V. **As Políticas de Inovação da Indústria de Energia Eólica: uma análise do caso brasileiro com base no estudo de experiências internacionais**. 2013. 146 f. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) - Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas. 2013.

COOK, K. A.; THAMBI, N.; BITETTO M. A.; HAMEYIE, E.B. Piezoelectric Energy Harvesting: A Green and Clean Alternative for Sustained Power Production. **Bulletin of Science Technology & Society**, v. 28, n. 6, p. 496-509, 2008.

CROSS, L. E.; HEYWANG, W. Piezoelectricity: Evolution and Future of a Technology. **Springer, chapter Introduction**. vol. 114, p. 1–4, 2008.

DEMIR, F.; ANUTGAN, M. Effects of the Wind Speed and the Material Emplacement on the Output Signal of PZT Piezoelectric Energy Harvester. Special Issue of the 6th International Congress & Exhibition (APMAS2016), Maslak, Istanbul, Turkey, June 1–3, 2016. **Acta Physica Polonica A**, v. 131, n. 3, p. 362-365, 2017.

ERTURK, A.; HOFFMANN, J.; INMAN, D. J. A Piezomagnetoelastic structure for broadband vibration energy harvesting. **Applied Physics Letters**, v. 94, n. 25, 2009.

ERTURK, A.; INMAN, D.J. An Experimentally Validated Bimorph Cantilever Model for Piezoelectric Energy Harvesting From Base Excitations. **Smart Materials and Structures**, v. 18, p. 1-18, 2009.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**; tradução de Maria Cristina Vidal Borba e Neide Ferreira Gaspar. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2010. Disponível em: < <http://www.fapesp.br/publicacoes/>>. Acesso em 17 jan. 2018.

FOSTER, J. B. **A Ecologia de Marx: Materialismo e Natureza**. Tradução de Maria Tereza Machado. 2. Ed., Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2010.

GONÇALVES, T. R. S. **Colheita Piezoelétrica de Energia**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2011. Disponível em: <<https://run.unl.pt/>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

KARTHIKEYAN, V.; MANIARASAN, P.; BHARATH, M.R. Wind Energy Harvesting from Flapping Leaf Generator. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)**, v. 1, 3. ed., 2014.

KHALIGH, A.; ZENG, P.; ZHENG, C. KINETIC Energy Harvesting Using Piezoelectric and Electromagnetic Technologies State of the Art. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**. vol. 57, n. 3, 2010.

KIM, S.; JU, S.; JI, C.-H.; LEE, S. Realistic Circuit Model of an Impact-Based Piezoelectric Energy Harvester. **Journal of Semiconductor Technology and Science**, v.15, n.5, 2015.

LI, S.; LIPSON, H. **Vertical-stalk flapping-leaf generator for wind energy harvesting**. Proceedings of the ASME. Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems SMASIS, September 20-24, Oxnard, California, USA, 2009.

MINETO, A. T. **Geração de energia através da vibração estrutural de dispositivos piezoelétricos não lineares**. 2013. 167 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses>>. Acesso em 01 nov. 2013.

MOREIRA FILHO, R. P. **Análise e caracterização da potência elétrica gerada com elemento piezoelétrico**. 2014. 141 f. Dissertação (mestre em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB. 2014. 142 f. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/5299>>. Acesso em 20 jan. 2018.

ORREGO, S.; SHOELE, K.; RUAS, A.; DORAN, K.; CAGGIANO, B.; MITTAL, R.; KANG, S. H. Harvesting ambient wind energy with an inverted piezoelectric flag. **Applied Energy** v. 194, p. 212–222, 2017.

PRIYA, S.; INMAN, D.J. **Energy Harvesting Technologies**. Springer Science Business Media, LLC, 2009.

RANGEL, R. F. **Caracterização de uma célula tubular piezoelétrica para geração de energia elétrica**. 2014. Dissertação (em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2014. 107 f. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/5295>>. Acesso em 02 fev. 2017.

SODANO, H. A.; INMAN, D. J.; PARK, G. A review of power harvesting from vibration using piezoelectric materials. **The Shock and Vibration Digest**, Vol. 36, No. 3, p. 197–205, 2004.

SUNDARARAJAN, V.; ROMERO, E.; BONILLA, N.; MARTÍNEZ, C. **Energy Harvesting from Fluttering Membranes**. 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology – LACCEI'2012, July 23-27, Panama, 2012.

THORNTON, J. J. **Design and analysis of a wind energy harvesting circuit using piezoelectric polymers**. 2011. 100 f. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade da Universidade da Califórnia Polytechnic State, San Luis Obispo, 2011.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. Dissertação (em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP. P. 27-28, 2012. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses>>. Acesso em 20 jan. 2018.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica e de Inovação- PROBIT/FAPERGS em convênio com a UFFS pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste projeto.