

## DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ESCADA EMPREGANDO O EFEITO PIEZOELÉTRICO

**Camila Campanholi Ceccato**   
Centro Universitário Ingá, Campus de  
Maringá  
[camila.ceccato@hotmail.com](mailto:camila.ceccato@hotmail.com)

**Glécilla Colombelli De Souza Nunes**   
Universidade Estadual de Maringá,  
Campus Sede  
[profglecillacolombelli@gmail.com](mailto:profglecillacolombelli@gmail.com)

**Anuar Jose Mincache**   
Universidade Estadual de Maringá,  
Campus Sede e Centro Universitário Ingá,  
Campus de Maringá  
[prof.anuarmincache@uninga.edu.br](mailto:prof.anuarmincache@uninga.edu.br)

**Lilian Felipe Da Silva Tupan**   
Universidade Estadual de Maringá,  
Campus Sede e Centro Universitário Ingá,  
Campus de Maringá  
[prof.liliantupan@uninga.edu.br](mailto:prof.liliantupan@uninga.edu.br)

### Resumo

A piezoelectricidade consiste em uma forma de produção de energia limpa e renovável, apesar do efeito piezoelétrico ter sido descoberto em 1880, suas aplicações como fonte de energia ainda são pouco exploradas. Logo, conhece-la e difundi-la é de extrema importância para a sociedade. Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma aplicação prática do efeito piezoelétrico. Neste efeito, ao aplicar uma tensão mecânica em um determinado material ele será polarizado, ou seja, ocorrerá uma separação entre as cargas elétricas positivas e negativas. Devido a isto será observada uma corrente elétrica que pode ser utilizada de diferentes formas. Para atingir tal objetivo elaborou-se um protótipo que consiste em uma escada revestida com pastilhas piezoelétricas que, por sua vez, estão conectadas à uma fita de LED. Esta fita é acessa toda vez que o usuário pressiona (pisa) sobre as mesmas, sendo possível observar a transformação da energia mecânica em energia elétrica. O protótipo da escada piezoelétrica pode ser aplicado nas mais diversas situações, em especial, em cinemas e prédios, ou em quaisquer lugares em que haja fluxo considerável de pessoas ou de veículos, como avenidas e rodovias.

**Palavras-chave:** Piezoelectricidade; Escada; Energia elétrica; Sustentabilidade.

## DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF STAIRS USING THE PIEZOELECTRIC EFFECT

### Abstract

Piezoelectricity produces clean and renewable energy; although the piezoelectric effect was discovered in 1880, its applications as an energy source still need to be explored. Therefore, knowing it and spreading it is extremely important for society. Thus, the present work aims to apply the piezoelectric effect. In this effect, mechanical stress on a specific material will be polarized; that is, there will be a separation between the positive and negative electrical charges. Due to this, an electric current that can be used in different ways will be observed. The prototype's goal was developed consisting of a ladder coated with piezoelectric chips that, in turn, are connected to an LED strip. This tape is accessed every time the user presses (steps) on them, making it possible to observe the transformation of mechanical energy into electrical energy. The prototype of the piezoelectric ladder can be applied in the most diverse situations, in particular, in cinemas and buildings or in any places where there is a considerable flow of people or vehicles, such as avenues and highways.

**Keywords:** Piezoelectricity. Ladder. Electric power. Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é de grande importância na vida humana. Ela é indispensável nas residências, nos setores de transportes, telecomunicações, água e saneamento, nas indústrias alimentícias, dentre outros (REIS, 2011).

Segundo Goldemberg & Paletta (2012) o carvão, o petróleo e gás natural foram responsáveis pelo desenvolvimento tecnológico e energético do século XX. E, atualmente, o consumo mundial de energia elétrica é obtido predominantemente de combustíveis fósseis, energias renováveis e energia nuclear, veja a Figura 1.

### CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA ELÉTRICA

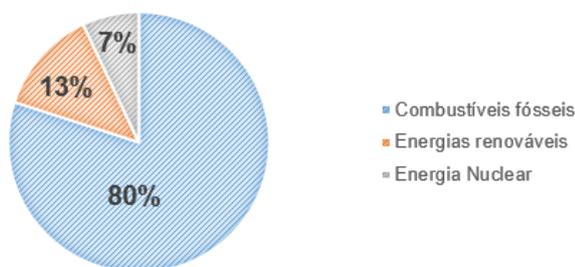


Figura 1 – Dados do consumo mundial de energia elétrica. Adaptado de GOLDEMBERG e PALETTA (2012)

Com a incessante necessidade de consumir energia elétrica e sua forma de obtenção Burattini (2008) faz o seguinte questionamento:

Mas, será que é possível suprir de energia toda a população mundial sem causar danos irreparáveis ao meio ambiente? Até

agora o homem mostrou que tem grandes dificuldades em respeitar o meio ambiente do qual ele mesmo faz parte. (BURATTINI, 2008, p. 13).

Com o intuito de suprir a necessidade de energia elétrica da população e evitar o risco de esgotamento das principais fontes de energia, uma solução cabível e que vem sendo cada dia mais explorada, são as fontes de energias renováveis. Dentre estas fontes as mais usuais são: eólica, solar e biogás/biomassa (BURATTINI, 2008; PALOSAARI, 2017).

Além das fontes supracitadas temos outras formas menos exploradas como a piezoelectricidade, que consiste na produção de energia elétrica via deformações mecânicas em determinados materiais (CALLISTER, 1999).

Considerando as várias possibilidades de aplicações que os materiais piezoelétricos possuem, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma possível aplicação para esses materiais, afim de difundir essa forma de produção de energia. Para tal construímos um protótipo de uma escada revestida com pastilhas piezoelétricas que alimentam a iluminação da escada. Este protótipo pode ser implementado, por exemplo, na escadaria de um cinema ou em prédios.

## 2. METODOLOGIA

## 2.1 Efeito piezoelétrico

Os irmãos Pierre e Jacques Curie são os responsáveis pela descoberta do efeito piezoelétrico. Em 1880, estes pesquisadores observaram que alguns cristais, quando comprimidos, geravam cargas em certas direções, isto é, polarizavam. E estas cargas são diretamente proporcionais a pressão exercida sobre o material e não podiam mais ser observadas quando a pressão cessava (JAFFE; COOK; JAFFE, 1973).

De acordo com Padilha (2007) os materiais piezoelétricos são naturalmente dielétricos, e sua polarização ocorre em função da aplicação de forças externas (tensão mecânica). A Figura 2 ilustra a polarização nesses materiais, sendo que os mais utilizados são: Quartzo Monocristalino ( $\text{SiO}_2$ ), Titanato de Bário ( $\text{BaTiO}_3$ ), Titanato de Chumbo ( $\text{PbTiO}_3$ ) e o Titano zirconato de chumbo ( $[\text{Pb}(\text{Ti}_{1-x}\text{Zr}_x)\text{O}_3]$ ) também conhecido como PZT (SHACKELFORD, 2008; ALPER; INMAN, 2011).

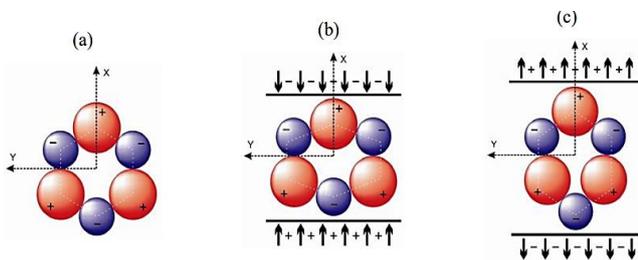


Figura 2 – Estrutura atômica do quartzo: (a) Estado natural; (b) Efeito da compressão; (c) Efeito da tração. PERLINGEIRO; PIMENTA e SILVA (2016).

A piezoelectricidade pode ser dividida em: efeito piezoelétrico direto e inverso. No

efeito piezoelétrico direto há uma polarização elétrica em função de uma deformação mecânica. Já no efeito inverso, um campo elétrico externo é aplicado no material que, por sua vez, responde com uma deformação mecânica. De forma sucinta, a energia elétrica é transformada em energia mecânica e vice-versa (TICHÝ et al., 2010).

Com o intuito de demonstrar o efeito piezoelétrico direto, os irmãos Curie realizaram experimentos com cristais de quartzo e demonstraram que a densidade da carga gerada é proporcional a pressão exercida, além disso em seus cálculos os pesquisadores também levaram em consideração as propriedades elásticas dos materiais. Matematicamente, os cientistas chegaram ao seguinte resultado (VIVES, 2008):

$$\vec{P}_p = dT = dcS = eS \quad (1)$$

Em que:

$\vec{P}_p$  é o vetor de polarização piezoelétrica;

$d$  é o coeficiente de deformação piezoelétrica. Este estabelece uma proporcionalidade entre a geração de cargas e as tensões mecânicas aplicadas (efeito piezoelétrico direto), no efeito piezoelétrico inverso o coeficiente estabelece uma proporcionalidade entre a deformação em função de um campo elétrico aplicado;

$T$  é a deformação;

$c$  é a constante elástica, que relaciona a tensão gerada pela aplicação de uma tensão mecânica ( $T = c S$ );

$e$  é a constante de tensão piezoelétrica;

$S$  é o coeficiente de conformidade que a deformação produzida pela aplicação de uma tensão ( $S = sT$ ).

Posteriormente, os irmãos Curie verificaram o efeito piezoelétrico inverso e demonstraram que a razão entre a tensão produzida e a magnitude do campo elétrico aplicado no efeito inverso era igual à razão entre a polarização produzida e a magnitude da pressão exercida no efeito direto. O efeito piezoelétrico inverso pode ser expresso por:

$$T_p = cS_p = cdE = eE \quad (2)$$

Onde:

$S_p$  é a tensão mecânica produzida pelo efeito piezoelétrico;

$T_p$  é a deformação causada pelo efeito inverso do piezoelétrico;

$E$  é a magnitude do campo elétrico aplicado.

Uma das primeiras aplicações dos materiais piezoelétricos ocorreu no início da primeira guerra mundial, um dispositivo

subaquático desenvolvido pelo francês Langevin que consistia em um transdutor, constituído de cristais piezoelétricos. Neste dispositivo um sinal mecânico podia ser detectado pelo cristal que, por sua vez, emitia uma resposta elétrica permitindo localizar submarinos (LEO, 2007).

Atualmente, os materiais piezoelétricos ainda são utilizados como transdutores (dispositivo capaz de transformar uma forma de energia em outra), transmitindo ou recebendo ondas ultrassônica e também como filtros de ondas (SHACKELFORD, 2008; MONTANHER, 2010).

Outra aplicação, que ainda está em fase de estudos, é a inserção de nanogeradores piezoelétricos no interior dos pneus dos automóveis (ver Figura 3) cujo objetivo é proporcionar autonomia à parte elétrica dos veículos ou auxiliar na alimentação de carros elétricos. Outro exemplo, que também está em fase de estudos, é implantar nanogeradores piezoelétricos na sola dos sapatos, pois com o caminhar do indivíduo se obteria energia elétrica que poderia suprir aparelhos eletrônicos de baixo consumo (HU et al., 2011; WANG et al., 2007).



Figura 3 – Pneu com nanogeradores piezoelétricos, (PELINGEIRO *et al*, 2016)

Em 2008, a Sustainable Dance Club (Roterdã, na Holanda) desenvolveu uma boate com piso gerador de energia, com sensores piezoelétricos instalados embaixo do piso na pista de dança (ver Figura 4). Conforme a movimentação das pessoas a boate gera a própria energia elétrica (PERLINGEIRO *et al.*, 2016).

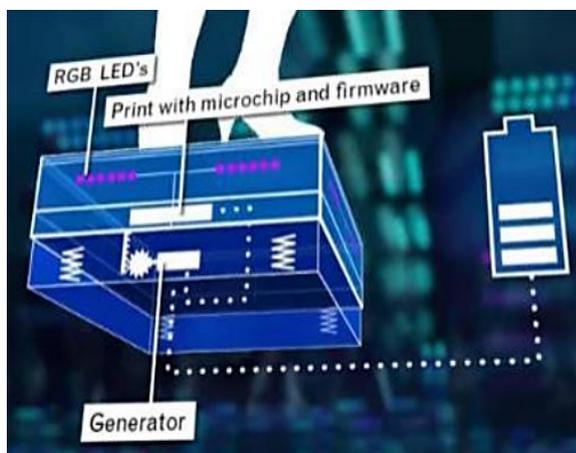


Figura 4 – Placa para geração de energia, (PELINGEIRO *et al*, 2016)

A piezoelectricidade possui inúmeras aplicações, contudo precisa ser mais explorada, pois este fenômeno pode ainda ser empregado em ferrovias, aeroportos, estradas, calçadas, dentre outros lugares (DHINGRA *et al.*, 2012; JIANG *et al.*, 2014).

## 2.2 Materiais e métodos

Para a construção do protótipo da escada piezoelétrica foram utilizados os seguintes materiais:

- Escada de madeira;
- 16 pastilhas piezoelétricas (8 pastilhas em cada degrau);
- Fita de LED (Light Emitting Diode);
- MDF (Medium Density Fiberboard);
- Cola quente;
- Fios jumpers;
- Cabo flat 16 vias;
- Tapete de silicone;
- EVA;
- Adesivo de pés;
- Cola instantânea;
- Parafusos;
- Estante;
- Ferro de solda;
- Fita dupla face e
- Multímetro.

Para a construção do protótipo, os degraus da escada foram revestidos com as pastilhas piezoelétricas. Em seguida, para amortecer o impacto e evitar fratura nas pastilhas colocou-se embaixo delas uma folha de EVA e sobre as folhas de EVA foi colocado um tapete de silicone, por fim, uma placa de MDF foi acrescentada para uniformizar o degrau e evitar danos ao usuário.

Após alguns testes constatou-se que oito pastilhas eram suficientes para acender a

fita de LED (40 cm). Assim, em cada degrau foram dispostas oito pastilhas associadas em paralelo (ver Figura 5).

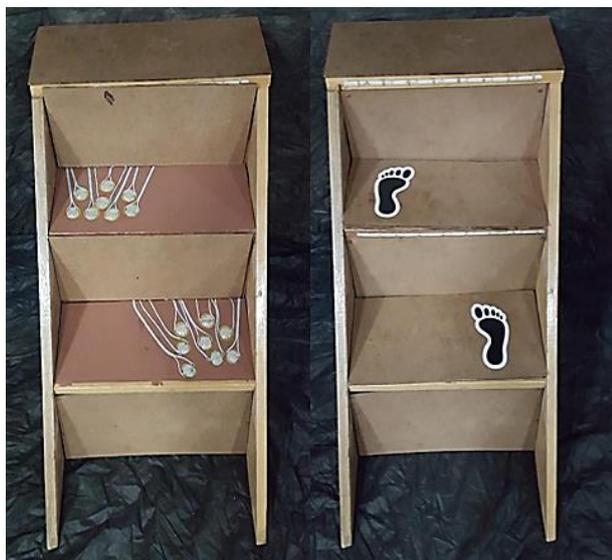


Figura 5 – Placa para geração de energia.

Para aumentar a eficiência do circuito as resistências da fita de LED foram removidas, pois estas estavam limitando a corrente produzida pelo pulso das pastilhas. A Figura 6 ilustra o circuito montado.

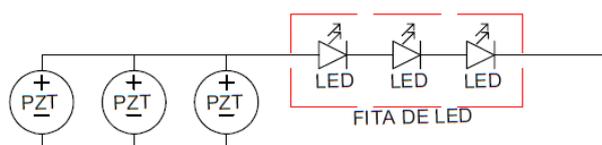


Figura 6 – Placa para geração de energia.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de escolher o melhor LED para a aplicação na iluminação da escada foram realizados testes com LED difuso vermelho, LED extra brilho vermelho e a fita de LED vermelha. Após os testes constatou-se que o LED difuso vermelho não iluminava

suficiente para que a pessoa pudesse ver o degrau subsequente, o LED extra brilho e a fita de LED atenderam às expectativas. Assim, optou-se pela fita de LED porque a cada cinco centímetros de fita tem-se três pontos de iluminação (três LED's) que podem ser acesos com uma única pastilha. Para reproduzir este mesmo efeito utilizando LED extra brilho seria necessário três LED's, logo a fita de LED é mais viável economicamente.

Comparando a média dos valores comerciais, que constam na Tabela 1, o custo com a fita de LED seria de 4,80 reais; já a fita com o LED extra brilho seria 16 reais por degrau. Com isso, ao optar-se pela fita de LED para iluminar o protótipo economizou-se, aproximadamente, 70% em relação aos LED's de extra brilho.

Tabela 1 – Levantamento de valores de diferentes tipos de LEDs.

LED	VALOR (R\$)
Normal	0,50/unidade
Extra Brilho	2,00/unidade
Fita	12,00/metro

Quando se comprimiu a pastilha piezoelétrica no protótipo foi produzida uma tensão de, aproximadamente, 5V, e uma corrente de 0,23 mA, que é suficiente para alimentar um LED (cinco centímetros de fita). Portanto, ao associar mais pastilhas piezoelétricas em paralelo obtivemos uma corrente suficiente para gerar energia e alimentar a fita de LED.

A corrente produzida pelo circuito (8 pastilhas) foi, aproximadamente, de 0,8 mA. Após remover as resistências da fita de LED a corrente aumentou para 1,5 mA; notando-se claramente que a resistência estava limitando a corrente em aproximadamente 47%.

Além da economia que a fita de LED proporcionou, a intensidade luminosa foi levada em consideração e, mesmo apresentando valores inferiores ao LED extra brilho, a fita de LED ainda possui a quantidade de lúmens suficiente para que o usuário consiga enxergar o degrau subsequente. Analisando a Tabela 2 pode-se observar os valores de lúmens emitido pelos LEDs.

Tabela 2 – Levantamento do fluxo luminoso dos LEDs. Adaptado da referência datasheet Symtronic, OPTOSUPPLY e LED KWB (fita de LED vermelha).

LED	Intensidade luminosa (lm)
Normal	30
Extra Brilho	900
Fita	480 - 600

Após a construção do protótipo, mensurou-se a quantidade de pastilhas necessárias para a implantação em um cinema. As características do cinema estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do cinema.

Degraus	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m <sup>2</sup> )
26	0,30	1,10	8,58
26	0,90	1,10	25,74
<b>Total</b>			34,32

Levando em consideração que cada pastilha tem diâmetro de 35 milímetros e que as mesmas são circulares para estimar a quantidade total utilizamos quatro pastilhas (que forma um quadrado) de área 0,0049 m<sup>2</sup>, portanto seriam necessárias 28016,33 pastilhas. Otimizando o sistema e dispondo as pastilhas como em nosso protótipo apenas 4602 pastilhas seriam suficientes para garantir o efeito desejado.

#### 4. CONCLUSÕES

A construção do protótipo se mostrou eficiente para iluminar de forma adequada o ambiente proporcionando ao usuário a quantidade de luz necessária para que este possa caminhar com segurança.

Do ponto de vista econômico e com a tecnologia existente hoje no Brasil a instalação das pastilhas para revestir a escadaria do cinema seria aproximadamente 372% maior que o valor gasto com as tecnologias atuais; contudo, existem empresas no exterior que já comercializam pastilhas maiores e com valores consideravelmente reduzidos, podendo chegar a uma economia de até 61% se comparadas as adquiridas no Brasil. Por outro

lado, vale ressaltar que o efeito piezoelétrico é antigo, porém suas aplicações voltadas para a iluminação são relativamente recentes, vários estudos estão atualmente em curso afim de otimizar esses materiais, melhorando suas propriedades elétricas e reduzindo seus custos de fabricação. Logo, apresentar as possíveis aplicações para tais materiais é fundamental para incentivar novas pesquisas na área e, até mesmo, incentivar empresários a investir nesta “nova” e promissora forma de geração de energia elétrica.

Tendo a possibilidade de investir em uma fonte de energia totalmente renovável, um cinema com essa tecnologia também serviria para difundir a produção de energia de forma sustentável, já que se trata de um local de grande fluxo de pessoas e que na sua maioria desconhecem essa forma de produção de energia. Além dos adultos aos olhos das crianças o efeito da pastilha piezoelétrica, provavelmente, seria algo “mágico”, que se adequadamente explicado para as mesmas, poderiam despertar o interesse pela ciência.

Outra forma de aplicar as pastilhas poderia ser para identificar os assentos, pois com uma única pastilha por acento seria possível o usuário pressionar a mesma e identificar o número do seu assento. Aliás, com a ideia do protótipo pode-se pensar em aplica-lo em várias outras situações, por exemplo: iluminação da escadaria de prédios (iluminação convencional ou de emergência),

em locais confinados em que as demais fontes possam apresentar risco ao usuário e em qualquer local em que seja difícil levar a energia elétrica de forma convencional.

Portanto, se concluiu que, mesmo precisando de investimentos consideráveis, do ponto de vista da sustentabilidade a aplicação das pastilhas para iluminação seria viável. Contudo, a mesma ainda precisa ser mais estudada e divulgada para que seja mais acessível.

## REFERÊNCIAS

- ALPER, E.; INMAN, D. J. **Piezoelectric Energy Harvesting**. WILEY. p. 416, 2011.
- BURATTINI, M. P. T. D. C. **Energia uma abordagem multidisciplinar**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- CALLISTER, J. W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução**. LTC. 5. ed.1999.
- DHINGRA, P.; BISWAS, J; PRASAD, A; MEHER, S. **Energy Harvesting using Piezoelectric Materials**. Special Issue of International Journal of Computer Applications, p. 38–42, 2012.
- GEARBEST, **Datasheet: Kwb Fita de Luz LED 2835**. Disponível em: <[https://br.gearbest.com/led-strips/pp\\_918953.html?wid=1433363#goodsDetail](https://br.gearbest.com/led-strips/pp_918953.html?wid=1433363#goodsDetail)>. Acesso em: 23 de junho de 2018.
- GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F. C. **Energias renováveis**. São Paulo: Editora Blucher, 2012.
- HU, Y.; XU, C.; Zhang, Y.; Lin, L.; Snyder, R. and Wang, L.Z. **A nanogenerator for energy harvesting from a rotating tire and its application as a self-powered**

**pressure/speed sensor.** *Advanced Materials*, v. 23, n. 35, p. 4068–4071, 2011.

JAFFE, B.; COOK, W. R.; JAFFE, JR. H. **PIEZOELECTRIC CERAMICS.** New York, ACADEMIC PRESS, 1973.

JIANG, X. LI, Y; LI, J; WANG, J.; YAO, J. **Piezoelectric energy harvesting from traffic-induced pavement vibrations.** *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 6, n. 4, p. 1–16, 2014.

LEO, J. D. **Engineering Analysis of Smart Material Systems.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.

MONTANHER, D. Z. M. **Caracterização e Desempenho de Transformadores de Estado Sólido Radiais Multiferroicos.** 2010.

OptoSupply, **Datasheet: 5mm Round Red & Red LED.** Disponível em: <<https://www.tme.eu/gb/Document/c89d0aefc0e74b9eb2243109940febbc/OSRJ25111A.pdf>>. Acesso em: 23 de junho de 2018.

PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia – Microestrutura e Propriedades.** HEMUS, 2007.

PALOSAARI, J. **Energy Harvesting From Walking Using Piezoelectric Cymbal and Diaphragm Type Structures.** University of Oulu Graduate School; University of Oulu, Faculty of Information Technology and Electrical Engineering Acta Univ. Oul. C

630, 2017.

PERLINGEIRO, A. R.; PIMENTA, G. M.; SILVA, S. E. DA. **Geração De Energia Através De Materiais Piezoelétricos.** **Centro Federal De Educação Tecnológica Celso Suckow Da Fonseca**, p. 62, 2016.

REIS, L. B. DOS. **Geração de Energia Elétrica.** 2ª Edição ed. Barueri, SP: Editora Manole Ltda, 2011.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais.** 6. ed. PEARSON, 2008.

SYMTRONIC, Sistemas eletrônicos LTDA. **Datasheet: LED 5mm - VERMELHO DIFUSO.** Disponível em: <[http://www.symtronic.com.br/produtos/arquivos/SYM-R503-30-D\\_8206.pdf](http://www.symtronic.com.br/produtos/arquivos/SYM-R503-30-D_8206.pdf)>. Acesso em: 23 de junho de 2018.

TICHÝ, J. ERHART, J; KITTINGER, E; PRÍVRATSKÁ, J. **Fundamentals of Piezoelectric Sensorics: Mechanical, Dielectric, and Thermodynamical Properties of Piezoelectric Materials.** SPRINGER, 2010.

VIVES, A. A. **Piezoelectric Transducers and Applications.** SPRINGER, 2008.

WANG, Z.; HU, J.; SURYAVANSHI, P.A.; YUM, K.; YU, M.F. **Voltage Generation from Individual BaTiO<sub>3</sub> Nanowires under Periodic Tensile Mechanical Load.** *Nano Letters*, v. 7, n. 10, p. 2966–2969, 2007.