



MICROGERAÇÃO DE ENERGIA COM CERÂMICAS PIEZOELÉTRICAS

Arlindo G S B Neto¹
Virginia Mirtes A Silva²
Aline Vitoria Dias Camelo³

Tecnologia Ambiental

Resumo

A eletricidade gerada por fontes renováveis e limpa contribui na redução de gases de efeito estufa diminuindo a utilização de energias de fontes primárias (carvão, petróleo e gás) para que a sua utilização seja aplicada de forma mais eficaz. A piezoelectricidade é uma alternativa promissora de obtenção de energia limpa, significa eletricidade por pressão, assim é um tipo de energia que não precisa de combustíveis ou aditivos, permitindo sua utilização em diversos segmentos com a capacidade de substituir a energia obtida através de recursos naturais, preservação do meio e economia futura. O crescimento da indústria de microeletrônica permitiu o avanço das pesquisas no desenvolvimento de materiais inteligentes para a aplicação em dispositivos de pequeno porte, assim a aplicação de materiais piezoelétricos tornou-se eficiente. A microgeração de energia utilizando o material piezoelétrico é viável e promissora para a aplicação em larga escala permitindo sua utilização principalmente em grandes centros urbanos devido ao crescimento populacional estimado para 2050 conforme várias pesquisas estabelecidas pela Organização das Nações Unidas. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo demonstrar o funcionamento e aplicações para a microgeração piezoelétrica, assim como dos componentes deste sistema, por meio de uma revisão bibliográfica de trabalhos publicados no período de 2018-2022. Os resultados apresentados na literatura pesquisada são significativos demonstrando o potencial de aplicação dos materiais piezoelétricos, consolidando-os com grande aplicação no potencial energético futuro.

Palavras-chave: Microeletrônica; Cerâmica piezoelétrica; Tensão elétrica; Energia Renovável

¹Prof. Dr. Arlindo G S B Neto –IFPB Campus Esperança, arlindo@ifpb.edu.br.

²Prof. Dra. Virginia Mirtes A Silva, virginia.mirtes2015@gmail.com

³Aluna do curso Técnico em Sistemas de Energia Renovável, IFPB, Campus Esperança. aline.vitoria@academico.ifpb.edu.br.

INTRODUÇÃO

O uso de energia sempre teve papel fundamental para o desenvolvimento e sobrevivência dos seres humanos, desde as civilizações antigas até os dias atuais. Inicialmente se utilizavam a força dos ventos, rios e lenhas como fontes energéticas, e por não haver grande demanda, tais fontes supriam facilmente as necessidades. Com o crescimento populacional e industrial a demanda de energia a demanda por energia aumentou significadamente e os uso dos combustíveis fósseis. A piezoelectricidade é uma alternativa limpa à geração de energia, se adequando com potencial de atender pequenas cargas. Atualmente, com o desenvolvimento alcançado com a síntese das cerâmicas piezoelétricas, tem promovido uma vasta gama de aplicações desenvolvidas, dentre as quais se destacam: sistema micromecânico de posicionamento, sistemas de recuperação de energia, sistemas microfuidicos (atuador) e sensores. No tocante aos sistemas de recuperação de energia, há um termo em Inglês para definir esse mecanismo, “energy harvest”, na qual há o desenvolvimento de materiais piezoeletricos para converter energia mecânica em energia elétrica, aproveitando as diversas fontes da natureza, como, por exemplo: movimentos das ondas, vibração de estruturas, movimentos mecânicos aleatórios ou não, entre outras. Nesse sentido, a palavra microgeração será usada neste trabalho, tendo como magnitude de geração números variando entre μW a mW . Dessa forma, esse trabalho busca fazer uma revisão bibliográfica abordando as principais aplicações da piezoelectricidade, bem como, as tecnologias desenvolvidas para a captação de energia.

METODOLOGIA

Quanto aos objetivos gerais, essa pesquisa se classifica como descritiva, que segundo Gil (2002, p. 42):

As pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. São inúmeros os estudos que podem ser classificados sob este título e uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como o questionário e a observação sistemática.

Quanto aos procedimentos técnicos utilizados, essa pesquisa trata-se de uma pesquisa bibliográfica, que segundo Gil (2002, p. 44): “A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

Essa pesquisa foi realizada a partir de uma revisão bibliográfica com dados disponíveis a partir de 2018-2022, usando o google como ferramenta de busca inserindo palavras-chave: piezo

Realização



Apoio





eletricidades, cerâmica piezoelétrica, PZT, energia renovável e termos em Inglês, energy harvesting. Dessa forma, a partir de uma pesquisa qualitativa e informativa, foi elaborado o texto, buscando identificar e compreender, os passos e os materiais utilizados, para a geração de energia elétrica com materiais que exibem características piezoelétricas. Os materiais utilizados para sua elaboração consistem em livros, artigos científicos e documentos sobre o tema.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A palavra “Piezoelectricidade” vem do grego e significa “Eletricidade por pressão”. Este nome foi proposto por Hankel em 1881 para nomear o fenômeno descoberto um ano antes por Pierre e Jacques Curie, os irmãos Curie, quando pesquisavam sobre simetria de cristais (VIVES, 2008), esse efeito é chamado de direto, ou seja, uma pressão aplicada gera uma tensão elétrica.

Os materiais piezoelétricos pertencem aos chamados materiais inteligentes, ou materiais multifuncionais, os quais têm a habilidade de responder, significativamente, ao estímulo de diferentes naturezas físicas. O efeito inverso desse fenômeno também pode ser observado ao aplicar um potencial elétrico ao material, que resultará na deformação dele, ou seja, conversão dessa energia elétrica em mecânica.

Em 1880, os físicos franceses Pierre Curie e seu irmão Jacques Curie expuseram que era provável gerar uma diferença de potencial ao se comprimir cristais piezoelétricos. Os materiais piezoelétricos mais encontrados na natureza são os Cristais de Quartzo, Óxido de Zinco, PZT (Titanato Zirconato de Chumbo), dentre outros.

O desenvolvimento das cerâmicas piezoelétricas foi revolucionário, pois, além de apresentarem melhores propriedades que os cristais após polarizadas, também oferecem geometrias e dimensões flexíveis por serem fabricadas através da sinterização de pós cerâmicos, conformados via prensagem ou extrusão. Atualmente, as cerâmicas piezoelétricas tipo PZT, em suas diversas variações, são as cerâmicas predominantes no mercado.

Também podemos encontrar outros materiais, como por exemplo, o PT (PbTiO_3) e o PMN ($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$), utilizados em dispositivos que exigem propriedades

Realização

Apoio

especiais e muito específicas, como transdutores para alta temperatura (ATP, 2010). Assim, de modo geral há duas formas de conversão de energia elétrica, a conversão direta que consiste em uma aplicação de energia mecânica externa na cerâmica piezoelétrica e este converte essa excitação mecânica em pulsos elétricos.

A segunda forma, é a conversão piezoelétrica inversa que consiste na aplicação de um valor de tensão na cerâmica e está irá convertê-la em energia mecânica, conforme ilustrado na Figura 4. Assim, uma pressão aplicada sobre a estrutura piezoelétrica irá provocar uma deformação estrutural, que por sua vez, irá produzir uma tensão elétrica. Por outro lado, a aplicação de uma tensão elétrica irá fazer com que a estrutura sobre uma deformação.



Figura 4 - Representação da conversão de energia com o efeito piezoelétrico.

Assim, para um material elástico a tensão mecânica depende apenas da deformação. Por outro lado, para um meio dielétrico, o vetor deslocamento elétrico depende só do campo elétrico aplicado. Já para um material piezoelétrico, a tensão mecânica depende da deformação e do campo elétrico e, da mesma maneira, o vetor deslocamento elétrico depende do campo elétrico e da deformação. Portanto, matematicamente as equações constitutivas para o efeito direto e inverso é representado pelas equações (1) e (2), (IKEDA, 1996):

$$S = sE + dtE \quad (1)$$

$$D = dT + sTE \quad (2)$$

em que, T e S são os tensores de tensão e deformação, sE é a matriz de rigidez elástica. D é o vetor deslocamento elétrico, d é o tensor dos coeficientes piezoelétrico, E é o vetor campo elétrico, sT é a matriz de rigidez dielétrica e t é o operador transposto.

As propriedades piezoelétricas se manifestam em alguns grupos de materiais, tais

Realização

Apoio

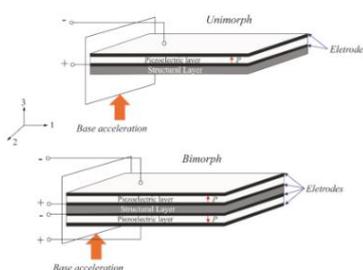
como: cristais de quartzo (SiO_2), cristais hidrossolúveis, nanocristais, semicondutores piezoelétricos (óxido de zinco (ZnO)), sulfeto de cádmio (CdS) e nitreto de alumínio (AlN), cerâmicas piezoelétricas, polímeros (principalmente o polyvinylidene fluoride (PVDF)) e compósitos piezoelétricos (GALLEGO-JUAREZ,1989).

1 CARACTERÍSTICA DA GERAÇÃO PIEZOELÉTRICA

Assim como, materiais com características piezoelétricas vêm sendo muito estudados como é o caso do titanato de bário (BaTiO_3), utilizado em transdutores ultrassônicos e, mais recentemente, o titanato zirconato de chumbo ($\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$), conhecida como PZT, que tem sido, provavelmente, um dos materiais ferroelétricos mais estudados nos últimos anos, seja na forma de corpos cerâmicos, seja como filmes finos (ARAÚJO e EIRAS, 2000).

Assim, na literatura é comum encontrar aplicações com o PZT, entretanto, esse material é frágil, apresentando limitações às deformações. Entretanto, considerando que a fonte de energia a ser explorada ou recuperada é através da vibração de estruturas, a geometria mais comum utilizada em grande parte dos estudos constitui-se de uma viga metálica retangular ou cantilever – em que uma de suas extremidades pode se encontrar fixa ou, em alguns casos, conectada a uma fonte de vibração, enquanto a outra extremidade permanece livre (RAMADASS et al., 2010).

Essa mesma estrutura pode ser composta por uma camada piezoelétrica, unimorph beam, ou composta por duas camadas, chamada de bimorph cantilever beam, são chamados de geradores piezoelétricos, conforme ilustrado na Figura 5. Os bimorfos são os mais utilizados pois fornecem maiores níveis de energia de saída, por ter camada dupla



Realização

Apoio

da cerâmica piezoelétrica.

Segundo Pelegrino et al. (2016), os motivos que levaram a estas configurações baseadas em vigas para conversores piezoelétricos estão relacionadas a energia colhida em razão da deformação sofrida da viga, frequências de ressonância relativamente baixas, deformação média relativamente alta para uma dada força aplicada e um simples processo para fabricação de dispositivos de tamanho reduzido. Portanto, o efeito piezoelétrico direto ou inverso levou a criação dos transdutores eletromecânicos, estes dispositivos convertem energia elétrica em energia mecânica ou vice-versa, no caso de geradores piezoelétricos o efeito relacionado é o direto. Por sua vez, encontram aplicações quando são usados de forma passiva (sensor) ou ativa (atuador).

Várias pesquisas foram realizadas para melhorar a captação da energia piezoelétrica analisando vários parâmetros de seu sistema com diferentes configurações. Assim, diversas variáveis podem influenciar na eficiência dos piezoelétricos, como o material utilizado para sua fabricação, dimensões e algumas constantes de desempenho de acordo com sua aplicação.

Uma das aplicações mais inovadoras foi realizada por Araújo e Eiras (2000) e teve como objetivo a construção e implementação de um sistema de baixo custo capaz de promover o carregamento da bateria de um celular padrão, tomando como referência a pressão aplicada sobre uma cerâmica piezoelétrica, convertendo a energia mecânica em elétrica. Por essa razão, este trabalho possui o intuito de buscar uma solução alternativa para que problemas do cotidiano possam ser solucionados, como nesse caso, o carregamento da bateria do celular.

O smartphone, em tradução literal “telefone inteligente”, é um aparelho que permite diversos recursos, como ligações telefônicas, mensagens, a possibilidade de capturar fotos e inúmeros outros artifícios, tendo se tornado um objeto de extrema valorização pela sociedade, a energia elétrica é essencial para o funcionamento do celular, uma vez que este funciona por meio de uma bateria, pelo uso e alto consumo de carga de bateria, o aparelho necessita constantemente de uma tomada de força.

Realização

Apoio

Porém, com a implementação de um sistema de recuperação de energia, baseado na conversão de energia mecânica, a qual é caracterizada pela capacidade de um corpo de gerar trabalho, em energia elétrica, usando cerâmicas piezoelétricas de baixo custo. Portanto, atos como caminhar, dançar, correr ou balançar os braços já seriam suficientes para recuperar um pouco da energia mecânica (TOSHIO et al, 2013), converter em elétrica e disponibilizar para carregar a bateria do celular. Com o desempenho do carregador proposto, ocorreria uma diminuição ínfima do consumo de energia via fonte convencional, hidráulica ou térmica, todavia, haveria um grande ganho do ponto de vista cultural, proporcionando um consumo racional e uma juventude mais comprometida com a gestão ambiental e energética.

Sousa et al., (2018) utilizaram cerâmicas de Titanato de Bário para construção de um protótipo de um tapete, o qual gerará energia elétrica a partir da deformação dessas cerâmicas. O desenvolvimento deste protótipo possui a finalidade apenas de estudo, por essa razão, foram utilizados materiais simples como: um Transdutor Piezoelétrico de 35 mm de diâmetro; cabo elétrico de 0,5mm; diodo 1N4007; capacitor eletrolítico; resistor 820Ω 10% 1/8W; ferro de solda Hikari Power 300; estanho para solda elétrica; LED 5mm transparente branco; multímetro digital MS8221B - LEETOOLS-601085; placas de acrílico com espessura de 18mm e amortecedores adesivos de poliuretano. Para aumentar a energia produzida, foi desenvolvido um dispositivo para pressionar vários transdutores piezoelétricos juntos a partir de uma única plataforma e armazenar a energia resultante em um capacitor. Entre duas placas de acrílico de 18 mm de espessura cortadas em círculo de 280 mm de diâmetro, foram distribuídos transdutores.

Os impactos da placa poderiam danificar a cerâmica piezoelétrica, por isso, para além de protegê-las, transmitir a pressão da placa para os transdutores, foram colocados amortecedores hemisféricos de poliuretano posicionados no centro de cada transdutor, na placa superior, a qual receberá a pressão. Aos polos metálicos e cerâmicos de cada transdutor foram soldados cabos elétricos de 5mm de espessura, para que a carga gerada seja conduzida à um conjunto de pontes retificadoras, uma para cada transdutor, que permitirá a conversão de correntes alternadas em corrente contínua.

Realização

Apoio

Depois de aplicar pressão no tapete repetidamente por cerca de 30 segundos e medir a energia armazenada no capacitor com um multímetro digital, obteve-se valores de tensão em torno de 12 volts. Após, o LED foi conectado ao capacitor, que liberou a energia armazenada. Para evitar que o LED fosse danificado caso o capacitor fosse drenado imediatamente um resistor de 820Ω foi ligado em série ao LED, para limitar o fluxo da corrente. A carga do capacitor permitiu que o LED se mantivesse aceso durante cerca de 20 segundos.

A tensão foi reduzida para cerca de 2 volts. A partir dos testes realizados, foi evidenciada a capacidade dos materiais piezoelétricos de gerar uma quantidade de energia elétrica consumível, destacando que um dispositivo construído com determinados para esse fim teria a capacidade de converter a energia de maneira mais eficiente.

Para avaliar a eficácia dos materiais piezoelétricos, Damke (2019) desenvolveu um projeto no qual a energia foi gerada através da vibração provocada pela intensidade do vento, para assim, ser possível calcular a potência máxima gerada. Com a intenção de com a utilização de maior quantidade de materiais piezoelétricos obter energia suficiente para acender uma lâmpada LED.

Com a utilização de um polímero piezoelétrico, o PVDF (Fluoreto de Polivinilideno), que se trata do polímero com maior resposta piezoelétrica, foi feita a simulação de geração de energia eólica. A partir de um ventilador de seis pás, velocidades de vento que variam de 4 a 7 m/s, tendo variadas distâncias entre o piezoelétrico e o gerador de escoamento. Um suporte vertical, com o piezoelétrico fixado em sua parte superior, foi posicionado em frente ao ventilador, a parte superior do suporte estando a mesma direção horizontal e frontal em relação ao centro do objeto.

O ventilador foi utilizado como um escoador de ar, provocando vibrações no piezoelétrico. No extremo livre do piezoelétrico foram acoplados plásticos flexíveis de PVC, de diferentes configurações, para melhorar as deformações e obter melhores resultados na saída de tensão. As melhores condições experimentais foram obtidas na configuração geométrica de formato T pequena, a uma velocidade de vento de 6,74 m/s, obteve-se 9,40 mW de energia.

Realização

Apoio

Zhang et al. (2019), promoveram o desenvolvimento de uma pulseira capaz de captar a energia híbrida, possuindo um nanogerador eletromagnético e triboelétrico que coletará os movimentos de pulso. A pulseira de colheita de energia opera com a ação de movimentos durante a prática de atividades físicas, como caminhar e correr. À medida que a pulseira é sacudida, o motor magnético se move de uma extremidade a outra, assim, gerando eletricidade.

Possui um excelente desempenho capacitivo, sendo capaz de com apenas um único pulso, alimentar determinados dispositivos eletrônicos por minutos, como por exemplo, uma calculadora e sensores de umidade e temperatura. A pesquisa de MOTA (2021), propôs um protótipo piezoelétrico com o intuito de obter captação e geração de energia no pavimento rodoviário. Foi feita uma análise comparativa de ensaios laboratoriais e simulações computacionais relacionadas a esta captação e geração de energia neste ambiente por meio da piezoelectricidade. A determinação das quantidades de fatores como a carga, frequência, número de células e espaçamento, possuem influência direta na quantidade de potência obtida.

Em relação às simulações computacionais, teve-se que o maior valor obtido de potência foi de 648,8 mW, tendo em vista uma frequência de 20 Hz, carregamento de 10,2 kN e um espaçamento entre 4 células. Já nos resultados dos ensaios laboratoriais, obteve-se que com o uso de 8 células foi retornada uma potência de 226,9 mW, considerando 10,2 kN e 20 Hz. Tendo em vista o consumo de energia e a emissão de gases na seção de transporte e a intenção de contribuir para a redução desses aspectos.

Moussa et al. (2022) desenvolveram uma aplicação da piezoelectricidade a qual ocorreu em uma estação de metrô, localizada no Egito em uma área central, cuja possui uma estimativa de cerca de 57 mil passageiros por dia. A escolha da localidade deu-se tendo em vista maior densidade de passageiros, para que fosse possível uma maior metragem. No estudo de caso foi analisado ainda, além da localização para o desenvolvimento do projeto, a devida seleção da telha piezoelétrica, cuja determinação teve base no consumo de energia do projeto atual.

Dois tipos de telhas foram comparadas, levando em consideração a capacidade de

Realização

Apoio

geração de energia, custo de capital inicial, vida útil e economia esperada. Foram apresentados nos resultados, que foram necessários doze ladrilhos de cerâmica piezoelétrica para obter a quantidade necessária de energia elétrica da estação, utilizando o Piso de Energia Sustentável.

Com a utilização dos ladrilhos piezoelétricos Waynergy, apenas 8 destes foram necessários. Além disso, também foi mostrado nos resultados uma redução no consumo de energia, assim como das emissões de carbono. As placas piezoelétricas, hoje em dia, têm sido utilizadas em projetos ousados em países como Inglaterra, Israel, Holanda e Japão, destacando a Inglaterra com o projeto de uma discoteca que tem sua iluminação aumentada a partir do aumento da energia dos dançarinos. (FARIAS e SALUM, 2013).

Assim, como é uma situação socioambiental, vem sendo estudadas fontes para desenvolvimento de energia limpa e que com isso não degradem tanto o meio ambiente.

CONCLUSÕES

De acordo com a revisão de literatura realizada foi possível constatar que a utilização de materiais piezoelétricos representa uma fonte viável para a geração de energia elétrica limpa. As principais características são a necessidade de utilização de energia cinética vibracional e com o avanço da microeletrônica e eletroquímica cada dia é possível miniaturizar os componentes eletrônicos e aplicar materiais quimicamente eficientes, não necessita de grandes áreas para geração e alta potência quando comparada a outros métodos de obtenção de energia limpa como a energia eólica, solar e a térmica.

Uma das maiores características é a aplicação na utilização do movimento vibracional causado devido a densidade e o crescimento populacional das cidades pois o movimento causado nas superfícies sejam ruas, calçadas, praças, universidades, dentre outros representa uma fonte de energia cinética vibracional imensurável gerando um potencial elétrico através da utilização de transdutores piezoelétricos cada vez mais robustos. Dessa forma, a sua utilização é fundamental para aplicações em cidades inteligentes, pois o aquecimento global é inequívoco e a mudança climática e o efeito

Realização



Apoio



estufa traz consequências irreversíveis às populações em todo o mundo. Vários países já utilizam tecnologias inteligentes para os desafios atuais e futuros relativos ao crescimento da população com foco em cidades inteligentes.

O objetivo é permitir um crescimento de modo sustentável, sem degradar os recursos naturais permitindo bem-estar social e ambiental, dessa forma a microgeração de energia através da piezoelectricidade é extremamente necessária e deve ser incorporada nas cidades. Além disso, os resultados apresentados na literatura são significativos demonstrando o potencial de aplicação dos materiais piezoelétricos, consolidando-os como grande potencial energético futuro. Assim, as pesquisas precisam avançar na determinação de vários parâmetros, como material a ser utilizado, geometria, circuitos de extração, dentre outros.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, E.; EIRAS, J. Effect of temperature and frequency on dielectric and ferroelectric properties of PZT thin films. *Materials Letters*, Elsevier Science B.V, p. 265-269, dev. 2000 DOI: <[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(00\)00183-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-577X(00)00183-X)>.

BAKKE, T. AND JOHANSEN, I. (2012). Pzt micromirror with integrated piezoresistive position sensors, *Optical MEMS and Nanophotonics (OMN)*, 2012 International Conference on, pp. 192–193.

BARRETO NETO--b, A. G. S.; Lima, A. M. N.; Tejo, F.; Preck, C.; Moreira, C. Piezoelectric buzzer optimization for micropumps. *Proceedings of the Comsol Conference 2012*, Boston, USA, p. 687–698, 2012.

DAMKE, L. R. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO MATERIAL POLÍMERO PIEZOELÉTRICO: UM NOVO CONCEITO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. Orientador: Jorge Luis Palacios Felix.. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Universidade Federal Fronteira Sul,, CERRO LARGO, 2019.

Realização

Apoio

GALLEGO-JUAREZ, J. Cerâmica piezoelétrica e transdutores ultrassônicos.. Journal of Physics E: Instrumentos, [s. l.], v. 22, n. 10, p. 804-816, 1989. GIL, Antonio Carlos, 1946 - Como elaborar projetos de pesquisa. Antonio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

IKEDA, T. Fundamentals of piezoelectricity. London, UK: Oxford University Press, 1996.

MOTA, B. C. CAPTAÇÃO E GERAÇÃO DE ENERGIA NO PAVIMENTO RODOVIÁRIO COM A APLICAÇÃO DE CÉLULAS PIEZOELÉTRICAS. Orientador: Dra. Suelly Helena de Araújo Barroso.. 2021. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Transporte, Universidade Federal do Ceará, FORTALEZA, 2021 . Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/60895/1/2021_dis_bcmota.pdf. Acesso em: 26 fev 2022.

MOUSSA, R.R, ISMAEEL, W.S, SOLBAN, M.M. Power generation in public buildings using piezoelectric floors; A case study of a subway station. Sustainable Cities and Society, v. 77, p. 103555, 2022.

NETO, A.G.S.B.; LIMA, A.M.N., NEFF, H., MODELO COMPUTACIONAL DE UM ATUADOR PIEZOELÉTRICO. In: Anais, XX Congresso Brasileiro de Automática, 2014, Belo Horizonte, MG.

PERLINGEIRO, Antônio Ramos; PIMENTA, Gilberto Maia; DA SILVA, Salviano Evaristo. Geração de Energia Através de Materiais Piezoelétricos. Rio de Janeiro, 2016.

RAMADASS, Y.K.; CHANDRAKASAN, A.P. An efficient piezoelectric energy harvesting Interface circuit using a bias-flip rectifier and shared inductor. IEEE Journal of Solid-State Circuits, Piscataway, v. 45, n. 1, p. 189-204, 2010

VIVES, Antonio. (Ed.). Piezoelectric transducers and applications. Berlin: Springer, 2008.

ZHANG, S. L, JIANG, Q., WU, Z., DING, W., ZHANG, L., ALSHAREEF, H.N, WANG,Z.L. Pulseira de coleta e armazenamento de energia incorporando microsupercapacitores eletroquímicos auto-carregados a partir de um único gesto com a mão. Materiais Avançados de Energia , v. 9, n. 18, pág. 1900152, 2019.

Realização



Apoio

