



ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA GERAÇÃO PIEZOELÉTRICA NA IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Scarlet O Hara Borges Lárane¹, Olavo Antônio de Oliveira Reis², Elivânia Maria Sousa Nascimento², Emerson Carlos Guimarães², Cláudio Abdalla da Cunha³, Sebastião Alves da Silva³

¹Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil
(scarletborges0@gmail.com)

²Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

³Bacharel em Engenharia Elétrica. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

Resumo: Este artigo trata-se de uma descrição da possibilidade do uso da piezoelectricidade em sistemas de irrigação para a cultura da cana-de-açúcar, levando em consideração a crescente demanda por fontes renováveis de energia, ocorrendo um impulsionamento na busca por soluções sustentáveis em diversos setores, incluindo a agricultura, dessa forma a piezoelectricidade surge como uma alternativa relevante e promissora, aproveitando a energia gerada pela pressão e vibração do fluxo de água nas tubulações.

Palavras-chave: Energia piezoelétrica; Sustentabilidade; Irrigação agrícola; Tubulações; Cana-de-açúcar.

INTRODUÇÃO

Defronte a crescente demanda que busca novas fontes renováveis de energia e da necessidade em questão de reduzir e otimizar o consumo energético, vem se desenvolvendo cada vez mais pesquisas e estudos. No setor agrícola, não seria diferente a carência de novas fontes, assim surge vários questionamentos e assim chegamos a conclusão de que a piezoelectricidade pode ser aplicada em sistemas de irrigação da cana-de-açúcar para gerar energia de forma sustentável. O intuito deste estudo é descrever a viabilidade técnica dessa aplicação, abordando os componentes necessários para sua implementação.

Tal abordagem justifica devido nas últimas décadas a humanidade, tornou-se dependente da energia elétrica, essa dependência cresce em função do avanço tecnológico. Em contrapartida, a base de nossa matriz energética é constituída, em sua maioria, por fontes que não são limpas e insustentáveis.

Em 1880, Jacques e Pierre Curie descobriram que cristais de quartzo, turmalina e outros materiais apresentavam um fenômeno único: quando submetidos a tensões mecânicas, eles geravam cargas elétricas em suas superfícies (Moheimani; Fleming, 2006; Callister, 2008). Esse efeito foi chamado de piezoelectricidade (do grego piezein, que significa “pressionar”) (Vives, 2008). Com o tempo, essa tecnologia passou a ser empregada em sensores,

dispositivos médicos e geração de energia sustentável.

Pesquisas recentes exploram o uso da piezoelectricidade para capturar energia gerada por vibrações e fluxos hidráulicos, podendo ser aplicado nos sistemas de irrigação, portanto representa uma alternativa viável para alimentar sensores de válvulas, controle de umidade de solo e pequenas iluminações em áreas remotas da plantação.

Entramos no questionamento, a aplicação de pastilhas piezoelétrica seria uma alternativa viável para produção de energia elétrica em um sistema que de irrigação de cana-de-açúcar?

Baseando-se nos estudos que vem se tornando mais promissores o projeto visa descrever um sistema piezoelétrico integrado a tubulações de irrigação na cultura da cana-de-açúcar, especificando os componentes necessários para sua implementação e com alto potencial de funcionamento.

Justificativa

O setor que mais consome água no Brasil é a agricultura, pouco mais da metade, ou seja, 50,5% do volume total, se comparado com outras demandas, como o abastecimento humano com água potável e o uso na indústria, segundo o Relatório da Conjuntura de Recursos Hídricos da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). Isso se deve basicamente à irrigação (Gomes, 2024), tornando



essencial a busca por soluções sustentáveis para associar o grande uso da quantidade de água para geração de energia.

As tubulações de distribuição de água podem ser utilizadas para produzir energia. Num sistema bem projetado, é possível induzir vibrações dentro da tubulação de água. Usando um transdutor, está energia cinética das vibrações pode ser convertida em energia elétrica (Buché, 2023).

A piezoelectricidade, pode aproveitar a vibração natural que a água faz proveniente de seu do fluxo nas tubulações, oferecendo uma alternativa promissora para geração de energia precisar de uma infraestrutura adicional, a proposta seria que sensores piezoelétricos poderem ser integrados a sistemas agrícola (no caso as tubulações de irrigação) para alimentar pequenos dispositivos, como sensores de umidade do solo, temperatura e ambiente, acionamento de válvulas e iluminação em certos pontos remotos.

Essa ideia de um sistema piezoelétrico para irrigação da cana-de-açúcar, é um projeto que pretende fornecer um referencial técnico para futuras implementações na área de energias renováveis aplicadas à agricultura, bem como bases para estudos e pesquisas futuras.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto será desenvolvido por meio de pesquisa descritiva e exploratória, utilizando fontes acadêmicas e técnicas para detalhar o funcionamento do sistema. A metodologia adotada seguirá as seguintes etapas:

- 1: Revisão bibliográfica da monografia de Recolha de Energia Cinéticas das Vibrações Mecânicas em Tubulações de Água da Universidade da Beira Interior, Portugal;
- 2: Pesquisa exploratória com a descrição dos componentes do sistema com base em estudos técnicos, conceitos e aplicação;
- 3: Modelagem teórica e simulativa do sistema, apresentando a disposição dos sensores, microcontrolador e *software* de monitoramento;
- 4: Discussão sobre a viabilidade técnica, considerando benefícios e limitações da aplicação.

Seleção do material piezoelétrico

- Cerâmica PZT (Zircônia-Titânio de Chumbo): amplamente utilizada devido à sua alta eficiência na conversão de energia mecânica em elétrica (Silva et al., 2023).
- Polímero PVDF (Fluoreto de Polivinilideno): flexível e resistente à umidade, ideal para aplicações em ambientes úmidos como sistemas de irrigação.

Circuito de condicionamento de sinal

Como os sensores piezoelétricos geram corrente alternada (AC), é necessário um diodo retificador para convertê-la em corrente contínua (DC).

- Diodos Retificadores (ex.: 1N4007) – Para converter corrente alternada (AC) em corrente contínua (DC).
- Capacitores (ex.: 1000 μ F, 25V) – Para armazenar a energia gerada pelos sensores.
- Resistores (ex.: 1k Ω , 10k Ω) – Para estabilizar o circuito e garantir eficiência na conversão de energia.
- Conversor DC-DC Boost (ex.: MT3608) – Para elevar a tensão gerada a um nível útil para armazenamento ou uso em pequenos dispositivos.

O conversor DC-DC Boost ajusta a tensão para que ela possa ser utilizada pelo microcontrolador ou armazenada na bateria

Microcontrolador

Modelo sugerido: Arduino Uno ou ESP32. Tendo como função o monitoramento da energia gerada, assim processando os dados e gerenciar o armazenamento da energia. Os dispositivos sugeridos tem como intuito registrar os dados de geração de energia e gerenciar o carregamento da bateria.

Bateria de armazenamento

Poderá ser utilizada a bateria Li-Ion 3.7V ou Supercapacitores (ex.: 10F, 2.7V). Levando em consideração a possibilidade de acumular a energia gerada para utilizar posteriormente.

Placa de circuito impresso (PCB)

Para que os componentes eletrônicos possam se acomodar de forma organizada e o circuito também, pois atua como base para ligar e conectar componentes uns aos outros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito Piezoeletrico

Segundo Buché (2023), a piezoelectricidade foi descoberta e investigada em cristais pelos irmãos Pierre e Jacques Curie em França, em 1880. Os irmãos Curie, no entanto, não previram o efeito piezoelétrico inverso. O efeito inverso foi matematicamente deduzido de princípios fundamentais da termodinâmica por Gabriel Lippmann em 1881.

Piezoelectricidade é um fenômeno físico no qual certos materiais convertem energia mecânica em elétrica quando submetidos a tensão mecânica (Jafari; Han; Karimi, 2019). Tal propriedade

peculiar tem sido bastante estudada para encontrar possíveis aplicações industriais.

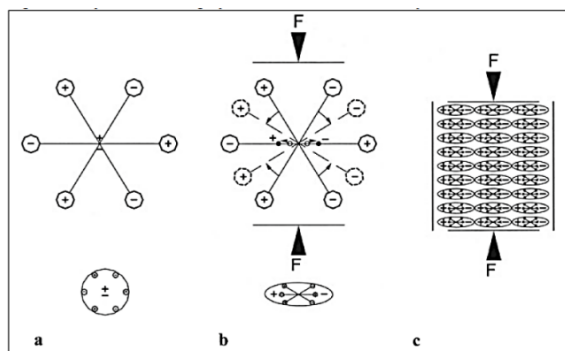


Figura 10. Comportamento das cargas presentes nas moléculas dos cristais piezoelétricos.

Para materiais com propriedades piezoelétricas a equação demonstra a relação existente entre a força aplicada ao cristal piezoelétrico e a tensão gerada à saída.

$$D = d\sigma + \epsilon E \quad (1)$$

D = Deslocamento elétrico;

d = Coeficiente piezoelétrico;

σ = Tensão mecânica;

ϵ = Permissividade Elétrica do material;

E = Campo elétrico aplicado.

Na irrigação, o fluxo da água dentro das tubulações gera vibração e pressão, fatores essenciais para ativação de sensores piezoelétricos. Estudos sugerem que materiais como PZT (Zircônia-Titânio de Chumbo) e polímeros piezoelétricos, como PVDF (Fluoreto de Polivinilideno), são eficientes na conversão de energia hidráulica em eletricidade (Silva et al., 2023).

Sistema de irrigação tipo aspersão por canhão

Tal equipamento usa o mecanismo no qual a água é distribuída de forma uniforme em toda área de cultivo. Conta com uma tecnologia bastante eficaz na plantação, ela funciona como um grande aspersor lançando jatos de água a longas distâncias. Segundo (Irrigat, 2025), além disso, permite que ela seja espaçada de acordo com o terreno, a vazão e o alcance. O tipo de sistema utilizado é a irrigação por aspersão.



Figura 11. Aplicação da lâmina de água com aspersor do tipo canhão.

Posteriormente usa-se o embasamento teórico demonstrado para que se consiga recolher a energia mecânica gerada através de componentes piezoelétrico acoplados nos canhões e assim utilizando em diversas funcionalidades para irrigação.

Resultados previstos e simulação teórica realizada

Como o projeto demonstrou descrever a viabilidade técnica para esse produção de energia, não foram consolidados testes em campo para a apresentação de resultados.

Produzir testes e monitoramento avaliando tal eficiência do sistema, desse modo ajustando a posição dos sensores se necessário, medindo a quantidade de energia gerada e se ela irá atender as expectativas propostas, daríamos início a estudo mais aprofundados e com possibilidade de fazer na prática esse projeto. E assim levando em consideração a redução de custos com energia para sensores e iluminação, eventuais monitoramento inteligente da plantação, otimizando a irrigação já aproveitamento da infraestrutura existente na fazenda de plantação.

Temos que considerar que como qualquer outra forma de energia já testada e utilizada há possíveis desafios e obstáculos, expondo sua baixa quantidade de energia gerada e geração de custos para testar um projeto piloto antes de expandir.

Vamos vislumbrar simulações dos cálculos relacionados à geração de energia utilizando pastilhas e sensores piezoelétricos dentro da tubulação de irrigação, com dados fictícios:

- Diâmetro da tubulação: 15 cm (0,15 m);
- Velocidade da água na tubulação: 3,0 m/s;
- Vazão da água: 53,01 litros/s (0.05301 m³/s);
- Pressão na tubulação: 0,46 metros de coluna de água (mca);
- Densidade da água: 1000 kg/m³;
- Gravidade: 9,81 m/s².



Cálculo de potência hidráulica disponível

A potência elétrica convertida pelas pastilhas piezoelétricas depende da eficiência do sistema.

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H \quad (2)$$

P_h = Potência hidráulica (W)

ρ = Densidade da água (kg/m^3)

g = Gravidade (m/s^2)

Q = Vazão da água (m^3/s)

H = Pressão em metros de coluna de água (mca)

$$P_h = 1000 \times 9,81 \times 0,05301 \times 0,46$$

$$P_h = 239,21 \text{ W}$$

Cálculo de potência elétrica gerada

A potência elétrica convertida pelas pastilhas depende da eficiência do sistema:

$$P_e = P_h \times \eta \quad (3)$$

P_e = Potência elétrica gerada (W)

η = Eficiência da conversão piezoelétrica (adotado como 10%)

$$P_e = 239,21 \times 0,1$$

$$P_e = 23,92 \text{ W}$$

Cálculo do número de pastilhas piezo necessárias

A pastilha piezoelétrica gera em média, 5 mW (0.005 W). O número total de pastilhas necessária para atingir P_e seria:

$$N_s = \frac{P_e}{P_s} \quad (4)$$

$$N_s = \frac{23,92}{0,005}$$

$$N_s = 4,784 \text{ Pastilhas /sensores}$$

Energia gerada por dia (8 horas dia):

$$E_d = P_e \times t \quad (5)$$

$$E_d = 23,92 \times 8$$

$$E_d = 191,36 \text{ Wh/dia}$$

Levando em consideração os mensais (30 dias mensais):

$$E_m = E_d \times 30 \quad (6)$$

$$E_m = 191,36 \times 30$$

$$E_m = 5,74 \text{ kWh/mês}$$

Viabilidade econômica

Valor quantitativo dos materiais a serem utilizados no futuro projeto.

Componentes	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Pastilhas Piezoelétricas PZT	10	5,00	50,00
Ponte retificadora de diodos	1	10,00	10,00
Capacitor (1000µF, 25V)	1	5,00	5,00
Conversor DC-DC Boost MT3608	1	40,00	40,00
Bateria Li-Ion 3.7V	1	40,00	40,00
Arduino Uno	1	90,00	90,00
Display LCD	1	30,00	30,00
Materiais Diversos (fios, conectores e soldas)	-	30,00	30,00

Figura 12. Avaliação quantitativa dos custos estimados.

Cálculo do investimento total estimado

$$\text{Custo Total} = 50 + 10 + 5 + 15 + 40 + 90 + 30 + 30 = \text{R\$ } 270,00$$

O custo estimado agora é R\$ 270,00, já que não precisamos incluir sistema de irrigação.

Avaliação da Viabilidade Econômica

Investimento inicial reduzido: Com a remoção dos custos da estrutura hidráulica, o investimento ficou menor, facilitando a implementação para fins de teste.

Mesmo rendimento energético: O sistema ainda gera 5,74 kWh/mês, economizando R\$5,17/mês.

Tempo de retorno do investimento

$$\frac{270}{5,17} \approx 52 \text{ meses (cerca de 4 anos e 4 meses)}$$

Inicialmente não se torna a solução viável para geração de energia em grande escala. Para pesquisa e desenvolvimento, o custo reduzido permite testar a tecnologia na prática. Para aplicação comercial, o retorno financeiro ainda é muito longo, mas o sistema pode ser útil para alimentar sensores de monitoramento.

CONCLUSÃO

A aplicação da piezoelectricidade a sistemas de irrigação vem representando uma alternativa sustentável para geração de energia no meio agrícola. Este estudo descreveu um modelo teórico viável para captação e aproveitamento da energia gerada pelo pelas vibrações do fluxo de água dentro das tubulações. A implementação desse sistema pode trazer benefícios como redução da dependência energética externa, otimização do monitoramento agrícola e incentivo ao uso de tecnologias sustentáveis na agricultura.

A piezoelectricidade na irrigação da cana-de-açúcar pode ser uma solução complementar para alimentar sensores e pequenos dispositivos. O sistema não substituiria fontes de energia tradicionais, mas ajudaria na automação e na variação de energias limpas disponíveis para serem utilizadas.



Podemos usar o termo “uma tecnologia em evolução”. O projeto de geração de energia piezoelétrica na irrigação não deve ser visto apenas pelo seu rendimento inicial, mas pelo seu potencial de crescimento e inovação. Com investimentos em pesquisa, otimização e escalabilidade, ele pode se tornar uma solução sustentável e viável para a agricultura.

Estudos futuros poderão validar os dados teóricos e aprimorar a eficiência da tecnologia proposta. Considerando não apenas a eficiência atual, mas a oportunidade de explorar um conceito inovador que pode gerar impactos positivos no futuro. Esse é o caminho para o desenvolvimento tecnológico.

REFERÊNCIAS

- Buché, C. P. Geração de energia através da vibração em tubulações hidráulicas: um estudo sobre a viabilidade técnica da piezoelectricidade. *Journal of Energy Engineering and Sustainability*, v. 8, n. 2, p. 105-120, 2023.
- Gomes, R. M. Gestão de recursos hídricos na agricultura: desafios e soluções sustentáveis. *Revista Brasileira de Recursos Naturais e Sustentabilidade*, v. 5, n. 1, p. 12-24, 2024.
- Moheimani, S. O. R.; Fleming, A. J. Piezoelectric transducers for vibration control and damping. 1. ed. New York: Springer, 2006.
- Vives, E. Piezoelectric Materials: Principles and Applications. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.