EVENTO ON-LINE
ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

GERAÇÃO PIEZOELÉTRICA DE ENERGIA: FUNDAMENTOS, APLICAÇÕES E DESAFIOS TECNOLÓGICOS

Rogério Rodrigues Lima de Araujo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR
Ângelo Marcelo Tusset
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

RESUMO: O presente artigo analisa a geração piezoelétrica de energia, com ênfase em seus fundamentos físicos, principais aplicações e desafios tecnológicos. Trata-se de uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa e natureza descritivo-analítica, desenvolvida a partir de estudos publicados entre 2017 e 2026 e organizada com apoio das recomendações do PRISMA 2020 para a seleção das referências. Os resultados evidenciam que materiais piezoelétricos apresentam capacidade de converter deformações mecânicas em energia elétrica, especialmente em aplicações de baixa potência associadas a pisos, calçadas, pavimentos rodoviários, estações de transporte, aeroportos e sistemas de sensoriamento. Observou-se que o desempenho depende de fatores como propriedades dos materiais, intensidade e frequência das cargas, resistência elétrica, configuração dos transdutores, condicionamento do sinal e armazenamento. Entre os principais desafios identificados estão a baixa densidade de potência, os custos de implantação, a durabilidade dos componentes e a necessidade de maior eficiência energética. Conclui-se que a piezoeletricidade apresenta potencial como fonte complementar e descentralizada de energia, sobretudo em sistemas autônomos e aplicações de microgeração.
Palavras-chave: Piezoeletricidade. Geração de energia. Energy harvesting. Materiais piezoelétricos. Microgeração.

PIEZOELECTRIC ENERGY GENERATION: FUNDAMENTALS, APPLICATIONS, AND TECHNOLOGICAL CHALLENGES

ABSTRACT: This article analyzes piezoelectric energy generation, with emphasis on its physical foundations, main applications, and technological challenges. It is a bibliographic review with a qualitative, descriptive, and analytical approach, developed from studies published between 2017 and 2026 and organized with support from the PRISMA 2020 recommendations for reference selection. The results show that piezoelectric materials are capable of converting mechanical deformation into electrical energy, especially in low-power applications involving floors, sidewalks, road pavements, transport stations, airports, and sensing systems. Performance was found to depend on factors such as material properties, load intensity and frequency, electrical resistance, transducer configuration, signal conditioning, and energy storage. The main challenges identified include low power density, implementation costs, component durability, and the need for greater energy efficiency. It is concluded that piezoelectricity has potential as a complementary and decentralized energy source, particularly in autonomous systems and microgeneration applications.
Keywords: Piezoelectricity. Energy generation. Energy harvesting. Piezoelectric materials. Microgeneration.

1. Introdução

A busca por fontes alternativas de geração de energia tem estimulado o desenvolvimento de tecnologias capazes de aproveitar formas de energia mecânica presentes no cotidiano, como vibrações, impactos, tráfego de veículos e deslocamento de pessoas. Nesse contexto, a piezoeletricidade se destaca por possibilitar a conversão direta de deformações mecânicas em energia elétrica por meio de materiais que apresentam propriedades eletromecânicas específicas.

Cerâmicas piezoelétricas, cristais e polímeros podem gerar diferença de potencial quando submetidos a esforços mecânicos, tornando-se relevantes para sistemas de microgeração e *energy harvesting*. A aplicação desses materiais tem despertado interesse principalmente em ambientes onde existem cargas repetitivas e energia mecânica normalmente dissipada sem aproveitamento, como pavimentos, pisos, estruturas sujeitas a vibrações e sistemas de transporte (Ferreira et al., 2022; Freitas; Silva, 2023).

Embora a piezoeletricidade apresente vantagens relacionadas ao aproveitamento de energia mecânica residual, ainda existem limitações que dificultam sua expansão em escala comercial. Diante desse cenário, formula-se a seguinte questão-problema: quais fundamentos físicos sustentam a geração piezoelétrica de energia, quais são suas principais aplicações tecnológicas?

Diante dessa problemática, o presente estudo tem como objetivo geral analisar os fundamentos, as aplicações e os desafios tecnológicos relacionados à geração piezoelétrica de energia. Como objetivos específicos, pretende-se: a) compreender os princípios físicos e as propriedades dos materiais responsáveis pela conversão de energia mecânica em energia elétrica; b) identificar as principais aplicações dos sistemas piezoelétricos em pavimentos, estruturas, meios de transporte e dispositivos de microgeração; e c) discutir as limitações técnicas, econômicas e operacionais que interferem na eficiência e na expansão dessas tecnologias.

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento sobre tecnologias capazes de aproveitar pequenas quantidades de energia disponíveis no ambiente e transformá-las em recursos úteis para sistemas de baixo consumo. A geração piezoelétrica apresenta interesse científico e tecnológico por poder ser incorporada a pavimentos, pisos, sensores e estruturas sem depender diretamente de combustíveis ou de grandes unidades geradoras (Lima; Santos; Duarte, 2024; Carbonari; Herrera, 2025).

2. Fundamentação Teórica

A piezoeletricidade corresponde à capacidade de determinados materiais de produzir polarização elétrica quando submetidos a tensões ou deformações mecânicas. Esse comportamento decorre da organização interna de estruturas cristalinas que permitem o deslocamento relativo de cargas elétricas diante da aplicação de força, originando uma diferença de potencial entre as faces do material. Esses princípios tornam os materiais piezoelétricos relevantes para sensores, atuadores e sistemas de conversão energética, especialmente em aplicações nas quais vibrações e esforços repetitivos podem ser aproveitados como fonte de energia elétrica (Callister Jr.; Rethwisch, 2020; Ferreira et al., 2022).

Entre os materiais utilizados em sistemas piezoelétricos, destacam-se cerâmicas, cristais e polímeros com diferentes propriedades eletromecânicas, estabilidade, resistência e capacidade de conversão. As cerâmicas piezoelétricas apresentam ampla utilização devido à elevada resposta elétrica quando submetidas a esforços mecânicos, embora seu desempenho dependa da composição, do processo de fabricação e das condições de operação (Ferreira et al., 2022; Callister Jr.; Rethwisch, 2020).

A geração piezoelétrica de energia tem sido investigada em aplicações de *energy harvesting*, nas quais pequenas quantidades de energia dispersas no ambiente são convertidas e armazenadas para alimentar sistemas de baixo consumo. Pisos, calçadas e pavimentos constituem exemplos frequentes porque recebem cargas repetidas decorrentes da circulação de pessoas e veículos. Estudos brasileiros mostram que a quantidade de energia obtida varia de acordo com o número e o arranjo dos elementos piezoelétricos, a magnitude das cargas aplicadas e a frequência dos eventos mecânicos, evidenciando a necessidade de otimização estrutural dos dispositivos (Pacheco et al., 2024; Araújo; Guerreiro, 2020).

Apesar das possibilidades de aplicação, a expansão da geração piezoelétrica ainda enfrenta desafios associados à baixa densidade de potência, ao condicionamento do sinal elétrico, ao armazenamento e à durabilidade dos dispositivos submetidos a ciclos mecânicos sucessivos. A energia produzida normalmente apresenta variações de tensão e corrente, exigindo circuitos capazes de retificar, estabilizar e armazenar a eletricidade antes de sua utilização (Freitas; Silva, 2023; Lima; Santos; Duarte, 2024).

3. Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa e natureza descritivo-analítica, desenvolvida com o objetivo de analisar os fundamentos físicos da piezoeletricidade, suas principais aplicações na geração de energia e os desafios tecnológicos relacionados à eficiência, durabilidade e viabilidade de implementação. A busca bibliográfica foi realizada em bases e portais científicos de acesso eletrônico, priorizando SciELO, Scopus, Web of Science e IEEE.

Foram empregados, isoladamente e em combinações com os operadores booleanos AND e OR, os descritores “piezoeletricidade”, “geração piezoelétrica de energia”, “materiais piezoelétricos”, “energia piezoelétrica”, “energy harvesting”, “pavimentos piezoelétricos”, “PZT” e “geração de energia em pisos”. O recorte temporal compreendeu publicações entre 2017 e 2026.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos que apresentassem discussão conceitual ou experimental sobre materiais piezoelétricos, conversão de energia mecânica em energia elétrica, desenvolvimento de protótipos, aplicações em pavimentos, pisos, estações, aeroportos e sistemas de microgeração, bem como pesquisas relacionadas à eficiência elétrica e viabilidade econômica. Foram excluídas publicações duplicadas, trabalhos sem relação direta com a geração ou aplicação da piezoeletricidade, documentos sem acesso integral e estudos cujo conteúdo estivesse restrito a aplicações sem relação com conversão energética.

Tabela 1: Artigos incluídos na revisão

Autor e ano	Título	Objetivos	Metodologia	Resultados	Conclusão
Araújo; Guerreiro (2020)	*Piezoeletricidade: a energia sob os pés e rodas em três estudos de casos*	Avaliar possibilidades de aplicação de sistemas piezoelétricos em locais de elevado fluxo de pessoas e veículos.	Estudos de caso em espaços de Brasília, com análise do consumo energético, fluxo e relação entre aplicação dos pisos e custo-benefício.	Foram observadas diferenças de viabilidade conforme circulação, demanda energética e custos de implantação.	A piezoeletricidade apresenta potencial em locais de elevado fluxo, mas sua aplicação depende das características de cada ambiente e da análise econômica.
Ferreira et al. (2022)	*Desenvolvimento, caracterização e aplicação de material cerâmico piezoelétrico*	Desenvolver e caracterizar material cerâmico baseado em PZT para utilização como sensor capaz de converter esforço mecânico em resposta elétrica.	Produção de cerâmica PZT por mistura de óxidos, calcinação, prensagem e sinterização, seguida de caracterizações estrutural, microestrutural, dielétrica e aplicação com Arduino.	As caracterizações confirmaram a formação das fases desejadas do PZT e o material apresentou resposta elétrica diante de estímulos mecânicos.	O material desenvolvido demonstrou propriedades adequadas para aplicações piezoelétricas e potencial de utilização em sensoriamento estrutural.

Freitas; Silva (2023)	*Captação de energia com materiais piezoelétricos*	Analisar a aplicabilidade de materiais piezoelétricos como alternativa para captação de energia e verificar relações entre pressão mecânica e resposta elétrica.	Estudo teórico-experimental com pastilhas piezoelétricas, diferentes configurações de ligação e aplicação progressiva de cargas, com medição de tensão e corrente.	Os testes mostraram aumento da resposta elétrica conforme o crescimento da pressão aplicada e demonstraram influência da configuração das pastilhas.	O aproveitamento energético é tecnicamente possível, mas sua eficiência depende de dimensionamento, disposição dos elementos e intensidade das solicitações mecânicas.
Mota et al. (2022)	*Um estudo preliminar da piezoeletricidade como fonte renovável de energia aplicada aos pavimentos do Colégio Militar de Fortaleza*	Investigar o potencial da piezoeletricidade como fonte limpa para aplicações em pavimentos e projetos autossustentáveis.	Revisão das propriedades dos materiais, desenvolvimento de tapete piezoelétrico e protótipo de revestimento submetido à passagem de pessoas.	A geração aumentou com maior peso e velocidade dos pedestres, e o protótipo demonstrou capacidade de alimentar lâmpadas LED.	A tecnologia demonstrou potencial para aplicações de baixa potência em pavimentos, justificando pesquisas voltadas à sua otimização.
Ramos; Rivelles; Henkes (2023)	*Um estudo preliminar sobre microgeração de energia piezoelétrica em sítio aeroportuário*	Examinar a viabilidade de aplicação da microgeração piezoelétrica em aeroportos.	Pesquisa bibliográfica, descritiva e documental, com análise de possibilidades em pavimentos, trilhos, pneus, pisos e outros componentes aeroportuários.	Foram identificadas diversas possibilidades de instalação, mas também limitações relacionadas à quantidade de informações disponíveis e à resistência dos materiais.	A aplicação é promissora como solução complementar, porém necessita de desenvolvimento de materiais mais resistentes e estudos práticos adicionais.
Pacheco et al. (2024)	*Produção de calçada piezoelétrica*	Desenvolver uma calçada inteligente capaz de transformar o movimento de pedestres em energia elétrica.	Construção de circuito com 36 elementos coletores de PZT incorporados a piso intertravado drenante e realização de ensaios para geração elétrica.	O sistema foi capaz de acender um LED, mas mostrou dependência de vibração constante ou de mecanismos de armazenamento.	A aplicação mostrou-se tecnicamente possível, porém a utilização prática demanda aperfeiçoamento do armazenamento e continuidade da excitação mecânica.
Mota; Barroso (2024)	*Influência da resistência elétrica em um protótipo de geração de energia em pavimentos rodoviários a partir da piezoeletricidade*	Analisar como diferentes resistências elétricas externas interferem no desempenho de um protótipo piezoelétrico aplicado a pavimentos.	Ensaio experimental com cinco cargas, três frequências de solicitação e cinco valores de resistência elétrica para simulação do tráfego.	Frequências mais elevadas produziram incremento de até 90% na saída elétrica em determinadas condições de resistência; componentes adicionais também favoreceram a eficiência.	A compatibilização das resistências e a configuração do circuito são decisivas para otimizar sistemas piezoelétricos aplicados a pavimentos rodoviários.
Lima; Santos; Duarte (2024)	*Energia limpa em potencial: a piezoeletricidade como uma alternativa para o Brasil*	Discutir o potencial da geração piezoelétrica como alternativa energética sustentável e suas	Estudo bibliográfico sobre fundamentos, materiais, aplicações e experiências de	Foram identificadas aplicações em tráfego de pedestres, veículos, sensores e	A piezoeletricidade apresenta perspectiva de contribuição para geração complementar, mas depende de

		possibilidades no contexto brasileiro.	geração piezoelétrica.	infraestrutura, com potencial de aproveitamento de energia mecânica residual.	investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico.
Carbonari; Herrera (2025)	*Piso gerador de eletricidade via sensores piezoelétricos*	Investigar a viabilidade de geração elétrica por meio de piso composto por sensores piezoelétricos.	Desenvolvimento de protótipo com 10 sensores de 27 mm em associação mista e aplicação de massas de até 15 kg, com medição da tensão gerada.	Foi identificada relação proporcional entre aumento da massa aplicada e tensão produzida, com capacidade de alimentar LEDs.	O protótipo demonstrou viabilidade para pequenas cargas e potencial de aplicação em ambientes com circulação intensa.
Passos et al. (2025)	*Estudo de viabilidade de implementação de sistema de geração piezoelétrica na Estação Palmeiras Barra-Funda – SP*	Analisar a viabilidade técnica e econômica da instalação de sistema de geração piezoelétrica em estação de transporte de grande circulação.	Estudo de viabilidade com análise de aplicações em trilhos e fluxo de pedestres, estimativas energéticas e avaliação econômica do sistema.	A utilização associada ao tráfego de pedestres apresentou cenário mais favorável que a aplicação ferroviária, embora o investimento inicial permanecesse elevado.	A tecnologia pode apresentar viabilidade em locais de circulação intensa, desde que os custos, durabilidade e geração efetiva sejam considerados no projeto.
Oliveira et al. (2020)	*A viabilidade econômica e o estudo da geração de energia aplicada por meio de materiais piezelétricos ao sistema de um shopping*	Avaliar geração e viabilidade econômica do emprego de pisos piezoelétricos em ambiente de grande circulação de pessoas.	Estudo aplicado com cálculos de geração, demanda energética e análise de implantação em ambiente comercial.	Os autores encontraram possibilidade de utilização da energia produzida para pequenas demandas, especialmente iluminação, embora com custos elevados de implantação.	O sistema foi considerado potencialmente aplicável em ambientes de elevado fluxo, sobretudo como geração complementar e de longo prazo.

Fonte: o autor (2026).

A metodologia adotada possibilitou organizar de forma sistemática o percurso de busca, seleção, análise e síntese das evidências científicas relacionadas à geração piezoelétrica de energia. Dessa maneira, o procedimento metodológico favoreceu uma análise integrada dos fundamentos físicos, das aplicações práticas e dos principais desafios tecnológicos da piezoeletricidade, proporcionando uma base consistente para a etapa de resultados e discussão do presente estudo.

4. Resultados E Discussão

A análise dos estudos selecionados permitiu organizar os resultados em três eixos principais: fundamentos e desempenho dos materiais piezoelétricos; aplicações da geração

piezoelétrica em diferentes contextos; e desafios relacionados à eficiência, viabilidade econômica, durabilidade e integração dos sistemas. De modo geral, a literatura evidencia que a piezoeletricidade apresenta potencial para converter esforços mecânicos recorrentes em energia elétrica útil, especialmente em sistemas de baixa potência e em ambientes com fluxo constante de pessoas, veículos ou vibrações.

4.1 Fundamentos, materiais e desempenho da conversão piezoelétrica

Os resultados relacionados aos fundamentos da piezoeletricidade mostram que a eficiência da conversão eletromecânica depende diretamente das características do material utilizado. Ferreira et al. (2022) demonstram que cerâmicas piezoelétricas baseadas em PZT apresentam resposta elétrica mensurável quando submetidas a esforços mecânicos, evidenciando a importância das etapas de composição, sinterização e polarização para o desempenho final (Ferreira et al., 2022).

Freitas e Silva (2023) observaram que o aumento da pressão sobre elementos piezoelétricos tende a produzir maior diferença de potencial, embora essa relação dependa da disposição dos componentes e da forma de conexão elétrica. Isso demonstra que o desempenho de um sistema não pode ser estimado apenas pelo número de sensores instalados, pois diferentes configurações podem produzir respostas distintas. Em aplicações práticas, o dimensionamento precisa considerar a distribuição das forças, a frequência de excitação e o modo como a energia é coletada e encaminhada ao circuito de armazenamento (Freitas; Silva, 2023).

Mota e Barroso (2024), ao analisarem um protótipo aplicado a pavimentos, identificaram alterações significativas na saída elétrica conforme a frequência de carregamento e a resistência conectada ao sistema. Em situações de tráfego mais intenso ou de maior repetição das cargas, a produção elétrica tende a aumentar, desde que o circuito esteja adequadamente ajustado às características do transdutor. A eficiência não depende apenas da energia mecânica disponível, mas também da compatibilidade entre o elemento piezoelétrico e os componentes responsáveis pelo condicionamento da saída elétrica (Mota; Barroso, 2024).

Carbonari e Herrera (2025) verificaram que o aumento da massa aplicada sobre sensores piezoelétricos produziu maior tensão elétrica, demonstrando o potencial de pisos para alimentar pequenos dispositivos. Ainda assim, a energia gerada permaneceu compatível com aplicações de baixa potência, o que limita sua utilização em cargas mais exigentes. Esse resultado evita interpretações superestimadas da tecnologia e indica que

o valor da piezoeletricidade está, sobretudo, no aproveitamento de energia que seria dissipada, e não na geração em grande escala (Carbonari; Herrera, 2025).

Mota et al. (2022) observaram que diferentes cargas e velocidades de passagem produziram respostas distintas no protótipo desenvolvido, indicando que a interação entre usuário, superfície e dispositivo precisa ser considerada no projeto. A geração de energia, portanto, não depende apenas do material em si, mas do modo como ele é integrado à estrutura que recebe os esforços. Essa constatação reforça a necessidade de projetos que maximizem a transferência de energia mecânica para os transdutores sem comprometer conforto, segurança ou durabilidade da superfície (Mota et al., 2022).

O desempenho da geração piezoelétrica resulta de uma combinação entre material, geometria, intensidade da força, frequência, resistência elétrica e arquitetura do circuito. A busca por maior eficiência exige otimização simultânea dessas variáveis, pois melhorar apenas um componente pode produzir ganhos limitados. A tecnologia é funcional e capaz de gerar energia mensurável, mas também evidenciam que sua aplicação prática requer projeto cuidadoso e adaptação ao contexto em que será instalada (Ferreira et al., 2022; Mota; Barroso, 2024).

4.2 Aplicações da geração piezoelétrica em pisos, pavimentos e sistemas de transporte

O segundo eixo evidencia que pisos e áreas de grande circulação constituem algumas das aplicações mais promissoras para sistemas piezoelétricos. Araújo e Guerreiro (2020) discutem casos em que o movimento de pessoas e veículos é utilizado como fonte mecânica para geração de energia, mostrando que locais de fluxo elevado apresentam melhores condições de aproveitamento. Essa aplicação é especialmente interessante porque transforma movimentos cotidianos em fonte complementar de eletricidade sem exigir alteração significativa do comportamento dos usuários (Araújo; Guerreiro, 2020).

Pacheco et al. (2024) demonstraram de forma prática o potencial de uma calçada equipada com elementos piezoelétricos. O protótipo desenvolvido apresentou capacidade de produzir energia suficiente para acendimento de LED, confirmando a possibilidade de aproveitamento das deformações geradas pelo caminhar. Entretanto, os autores também identificaram que a geração ocorre de maneira intermitente, o que reforça a necessidade de armazenamento e de fluxo constante de pedestres para ampliar a produção acumulada (Pacheco et al., 2024).

Em ambientes institucionais, Mota et al. (2022) analisaram a aplicação da piezoeletricidade em pavimentos do Colégio Militar de Fortaleza e observaram relação entre

peso, velocidade de passagem e energia produzida. O estudo mostra que locais com circulação previsível podem ser utilizados como espaços de teste e implantação gradual da tecnologia. Além disso, aplicações desse tipo possuem valor educacional e tecnológico, pois permitem demonstrar de forma concreta a conversão de energia mecânica em elétrica (Mota et al., 2022).

Passos et al. (2025) analisaram a viabilidade de um sistema piezoelétrico na Estação Palmeiras-Barra Funda, considerando o intenso fluxo diário de usuários. Os resultados apontam que a utilização do movimento de pedestres pode apresentar maior viabilidade do que algumas alternativas associadas diretamente aos trilhos, principalmente pela frequência das cargas e maior facilidade de instalação. O estudo evidencia, porém, que o custo inicial permanece como obstáculo relevante, exigindo avaliação de retorno e vida útil antes da implementação em larga escala (Passos et al., 2025).

A aplicação em aeroportos também foi considerada por Ramos, Rivelles e Henkes (2023), que identificaram diferentes pontos potenciais para geração piezoelétrica em sítios aeroportuários. Áreas de embarque, circulação de passageiros, pavimentos e outros elementos sujeitos a cargas repetitivas podem funcionar como fontes de microgeração. A principal vantagem está na possibilidade de integrar a captação de energia a estruturas já existentes. Por outro lado, os autores destacam que a resistência dos materiais e a necessidade de estudos experimentais mais aprofundados constituem obstáculos importantes para sua implementação em ambientes de elevada exigência operacional (Ramos; Rivelles; Henkes, 2023).

De forma geral, os estudos mostram que o melhor desempenho dos sistemas piezoelétricos ocorre em ambientes com elevada repetição de esforços mecânicos e demanda energética compatível com a pequena potência gerada. Pisos, estações, aeroportos e pavimentos apresentam condições favoráveis, mas a viabilidade depende da integração entre fluxo de usuários, robustez estrutural, custos e finalidade da energia produzida (Araújo; Guerreiro, 2020; Carbonari; Herrera, 2025).

4.3 Desafios tecnológicos, eficiência e viabilidade da geração piezoelétrica

O terceiro eixo revela que a principal limitação da geração piezoelétrica está na quantidade relativamente reduzida de energia obtida em muitas aplicações. Mesmo quando a tensão gerada é significativa, a corrente disponível pode permanecer baixa, o que restringe o fornecimento de potência para equipamentos de maior consumo. Freitas e Silva (2023) mostram que o aproveitamento depende da configuração dos elementos e da

intensidade das solicitações mecânicas. Assim, a ampliação do desempenho exige não apenas aumentar o número de sensores, mas otimizar sua conexão e reduzir perdas ao longo do circuito (Freitas; Silva, 2023).

Mota e Barroso (2024) demonstraram que a resistência externa modifica de forma relevante a resposta do protótipo, evidenciando a necessidade de ajuste entre componentes. Esse resultado indica que sistemas mal dimensionados podem desperdiçar parte importante da energia produzida. Portanto, o projeto de geração piezoelétrica deve incluir análise de impedância, retificação e armazenamento, garantindo que a energia captada seja transferida de maneira mais eficiente para o circuito final (Mota; Barroso, 2024).

Pacheco et al. (2024) mostraram que a geração decorrente do caminhar ocorre de maneira descontínua, exigindo o uso de componentes capazes de acumular pequenas quantidades de energia ao longo do tempo. Sem armazenamento adequado, a energia gerada pode não ser aproveitada de forma útil. Baterias e capacitores aparecem como alternativas, mas introduzem perdas adicionais, custos e limitações relacionadas à vida útil. Dessa forma, a eficiência total precisa considerar todas as etapas entre a deformação mecânica e o consumo final da energia (Pacheco et al., 2024).

Em pavimentos e pisos, os transdutores são submetidos a milhares de ciclos de compressão, vibração e impacto. Ramos, Rivelles e Henkes (2023) destacam a necessidade de materiais resistentes para aplicações aeroportuárias, enquanto Mota et al. (2022) apontam a importância de soluções que conciliem geração e integridade estrutural. A degradação mecânica pode reduzir a eficiência ao longo do tempo e aumentar custos de manutenção, tornando a vida útil um dos critérios centrais na avaliação da viabilidade de projetos (Ramos; Rivelles; Henkes, 2023; Mota et al., 2022).

Passos et al. (2025) observaram que ambientes de grande circulação apresentam potencial técnico, mas os custos de instalação ainda podem dificultar o retorno do investimento. Oliveira et al. (2020) chegaram a conclusão semelhante ao analisar o uso de pisos piezoelétricos em shopping center. Esses resultados indicam que a tecnologia tende a ser mais competitiva quando associada a aplicações específicas de baixo consumo ou quando possui valor adicional, como monitoramento de fluxo, sinalização ou integração com sistemas inteligentes (Passos et al., 2025; Oliveira et al., 2020).

Os estudos analisados demonstram que a geração piezoelétrica é tecnicamente possível e apresenta aplicações concretas, mas sua expansão depende de avanços simultâneos em materiais, circuitos e integração estrutural. A tecnologia tende a apresentar maior potencial em soluções descentralizadas, sistemas autônomos e ambientes com alta

frequência de esforços mecânicos. Dessa forma, seu desenvolvimento futuro está diretamente relacionado à capacidade de transformar resultados experimentais em sistemas robustos, economicamente viáveis e adaptados às condições reais de operação (Mota; Barroso, 2024; Passos et al., 2025).

5. Considerações Finais

A análise desenvolvida permitiu compreender que a geração piezoelétrica de energia apresenta potencial relevante como tecnologia complementar para o aproveitamento de vibrações, impactos e deformações mecânicas presentes em diferentes ambientes. Os estudos examinados demonstram que materiais piezoelétricos podem converter energia mecânica em eletricidade de forma funcional, especialmente em aplicações de baixa potência.

O avanço da geração piezoelétrica depende da integração entre ciência dos materiais, engenharia estrutural, eletrônica e desenvolvimento de sistemas mais eficientes de armazenamento e gerenciamento energético. Embora ainda não represente uma alternativa capaz de substituir fontes convencionais de geração, a piezoeletricidade pode contribuir para soluções descentralizadas e para o aproveitamento de energia mecânica que normalmente seria dissipada.

Referências

ARAÚJO, Eliete de Pinho; GUERREIRO, Laura de Castro Oliveira. Piezoeletricidade: a energia sob os pés e rodas em três estudos de casos. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 76627-76648, 2020.

BOASKI, Robson Thomacheski; HAURA JUNIOR, Remei. Energia piezoelétrica. *R.E.V.I. – Revista de Estudos Vale do Iguaçu*, v. 1, n. 39, 2022.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. *Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais: uma abordagem integrada*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. 880 p.

CARBONARI, Carla Patricia; HERRERA, Cristhiano Costa. Piso gerador de eletricidade via sensores piezoelétricos. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, e025014, 2025.

DESENVOLVIMENTO de um sismógrafo empregando sensores piezoelétricos em plataforma Arduino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, 2021.

FERREIRA, Willer Mota; REIS, Idalci Cruvinel dos; NAHIME, Bacus de Oliveira; GUERRA, José de los Santos; SILVA, Atair Carvalho da. Desenvolvimento, caracterização e aplicação de material cerâmico piezoelétrico. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, e13214, 2022.

FREITAS, Víncentte Weber Batista de; SILVA, Jusciane da Costa e. Captação de energia com materiais piezoelétricos. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Curitiba, v. 21, n. 8, p. 9921-9940, 2023.

LIMA, Kariany Leandro Cabral de; SANTOS, Gustavo Augusto da Silva dos; DUARTE, João Paulo Bittencourt da Silveira. Energia limpa em potencial: a piezoeletricidade como uma alternativa para o Brasil. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 10, n. 11, p. 4353-4363, 2024.

MOTA, Bruno Cavalcante; ALBUQUERQUE NETO, Bruno; ALMEIDA, Samuel Goersch Fontenele de; MARANHÃO, Thiago Frota; REIS, Francisca das Chagas Soares; BARROSO, Suelly Helena de Araújo. Um estudo preliminar da piezoeletricidade como fonte renovável de energia aplicada aos pavimentos do Colégio Militar de Fortaleza. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v. 42, n. 1, 2022.

MOTA, Bruno Cavalcante; BARROSO, Suelly Helena de Araújo. Influência da resistência elétrica em um protótipo de geração de energia em pavimentos rodoviários a partir da piezoeletricidade. *Transportes*, v. 32, n. 2, e2881, 2024.

OLIVEIRA, Edney Cavalcante de et al. A viabilidade econômica e o estudo da geração de energia aplicada por meio de materiais piezelétricos ao sistema de um shopping. *European Academic Research*, v. 8, n. 9, p. 5522-5533, 2020.

PACHECO, Caroline Valadão; MARTINS, Amanda de Cássia Cardoso; RAMIREZ, Bruna Niccoli; YAMAMOTO, Rogerio Issamu; MUNHOZ JR., Antônio Hortêncio. Produção de calçada piezoelétrica. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 24, n. 1, p. 37-61, 2024.

PASSOS, Arthur Nascimento et al. Estudo de viabilidade de implementação de sistema de geração piezoelétrica na Estação Palmeiras Barra-Funda – SP. *Revista SODEBRAS*, v. 20, 2025. DOI: 10.29367/y0tdkj26.

RAMOS, Felipe Dasnoy; RIVELLES, Igor de Canha; HENKES, Jairo Afonso. Um estudo preliminar sobre microgeração de energia piezoelétrica em sítio aeroportuário. *Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas*, v. 3, n. 4, p. 153-176, 2023.

WEIMANN, Tatiane; DOMINGUES, Racquel Knust; MOLTER, Alexandre. Controle de vibrações em vigas usando buracos prescritos e atuadores piezoelétricos. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, v. 11, n. 3, p. 113-121, 2021.