

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO PIEZOELÉTRICA NA ESTAÇÃO PALMEIRAS BARRA-FUNDA - SP

FEASIBILITY STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF A PIEZOELECTRIC GENERATION SYSTEM AT PALMEIRAS BARRA-FUNDA STATION - SP

Arthur Nascimento Passos¹
Anna Luisa Ferreira Cardeal²
Kauan Antony Maranhão Lobo³
Lucas Madruga Bezerra da Silva⁴
Maria Rita Reberte Pereira⁵
Maria Claudia Costa de Oliveira Botan⁶

Resumo – O estudo analisa a viabilidade de implantar um sistema piezoelétrico na Estação Palmeiras Barra-Funda (SP), aproveitando o fluxo de pedestres para gerar energia, devido à crescente demanda por energia e a busca por soluções sustentáveis. A aplicação em trilhos foi descartada devido à fragilidade do material piezoelétrico (PZT), baixa eficiência (apenas 200 μ J por trem) e altos custos. Já o tráfego humano, por ser de baixo impacto e alta frequência, é ideal para a tecnologia. Empresas como a Pavegen já utilizam pisos modulares capazes de gerar até 5 W por pisada em locais como aeroportos. O projeto propõe instalar placas Pavegen V3 nas escadas rolantes, estimando 33,5 MW/mês, economia de R\$ 18.101,39/mês e retorno do investimento em 67 meses. Apesar do alto custo inicial (R\$ 1,2 milhão) e dos desafios técnicos, a solução é viável e pode servir de modelo para infraestruturas sustentáveis no Brasil.

Palavras-chave: Piezoeletricidade. Estação Palmeiras Barra-Funda. Sustentabilidade

¹ Discente em Bacharelado de Engenharia de Energia na Universidade Estadual Paulista (UNESP). Contato: arthur.n.passos@unesp.br.

² Discente em Bacharelado de Engenharia de Energia na Universidade Estadual Paulista (UNESP). Contato: anna.cardeal@unesp.br.

³ Discente em Bacharelado de Engenharia de Energia na Universidade Estadual Paulista (UNESP). Contato: kauan.lobo@unesp.br.

⁴ Discente em Bacharelado de Engenharia de Energia na Universidade Estadual Paulista (UNESP). Contato: lucas.madruga@unesp.br.

⁵ Discente em Bacharelado de Engenharia de Energia na Universidade Estadual Paulista (UNESP). Contato: maria.reberte@unesp.br.

⁶ Doutora em Engenharia Mecânica na área de Energia (UNESP/Guaratinguetá); Docente na Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Rosana-SP. Contato: maria.botan@unesp.br

Abstract - The study assesses the feasibility of implementing a piezoelectric system at Palmeiras Barra-Funda Station (SP), harnessing pedestrian foot traffic to generate energy, driven by the increasing demand for power and the search for sustainable solutions. The application on railway tracks was dismissed due to the fragility of piezoelectric materials (PZT), low efficiency (only 200 μ J per train), and high costs. In contrast, human traffic, being low-impact and high-frequency, is ideal for the technology. Companies like Pavegen already use modular floors capable of generating up to 5 W per step in locations such as airports. The project proposes installing Pavegen V3 tiles on escalator accessways, estimating a generation of 33.5 MW/month, savings of approximately R\$ 18,101.39/month, and a return on investment in about 67 months. Despite the high initial cost (R\$ 1.2 million) and technical challenges, the solution is viable and could serve as a model for sustainable infrastructure in Brazil.

Keywords: Piezoelectricity. Palmeiras Barra-Funda Station. Sustainability.

I. INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética nos centros urbanos expõe as limitações e os impactos ambientais do modelo convencional, dependente de fontes fósseis e até mesmo de hidrelétricas, que são vulneráveis a variações climáticas (FREITAS; DATHEIN, 2013). Diante da urgência climática, torna-se imperativa a diversificação da matriz energética com alternativas limpas e integráveis ao espaço urbano. Neste contexto, a **energia piezoelétrica** surge como uma solução promissora, convertendo a energia mecânica de pressão e movimento — onipresente e desperdiçada nas cidades — em eletricidade, num processo conhecido como *energy harvesting*.

A eficácia dessa tecnologia, que utiliza materiais como o PZT e o PVDF, permite "colher" energia de fontes cotidianas (LIMA; SANTOS; DUARTE, 2024). No setor de transportes públicos, existem duas vertentes de aplicação: aproveitar a energia da passagem dos trens nas vias férreas ou do fluxo de pessoas nas estações. Este trabalho argumenta que a segunda abordagem é a única pragmaticamente viável.

A aplicação em **vias férreas**, embora pareça promissora devido ao peso dos trens, enfrenta desafios intransponíveis. Materiais eficientes como o PZT são frágeis e suscetíveis à **falha por fadiga** sob o impacto intenso e repetitivo do tráfego ferroviário (SHAN; KUANG; ZHU, 2022), comprometendo a segurança. Além disso, a estrutura da via, projetada para amortecer e dissipar forças, resulta numa **baixa eficiência de conversão**, gerando energia insuficiente para aplicações de maior porte (MONTEIRO; CARVALHO, 2019). Economicamente, os custos de instalação e manutenção — que exigiriam a interdição das linhas — são proibitivos, e o risco à segurança ferroviária é inaceitável (SHAN; WANG; ZHU, 2024).

Em contrapartida, a colheita de energia do **tráfego humano** é mais resiliente e tecnologicamente madura. A força de um passo é menor, mas a alta frequência e o grande volume de pessoas em locais movimentados criam uma fonte de energia constante. A tecnologia já possui **maturidade comercial**, com empresas como a Pavegen implementando projetos de sucesso em locais públicos no mundo todo, incluindo estações de metrô (LIMA; SANTOS; DUARTE, 2024). A instalação e manutenção de pisos modulares são simples, seguras e não interrompem a operação, oferecendo ainda benefícios adicionais, como a coleta de dados de fluxo.

Por essas razões, o trabalho foca no potencial do tráfego humano na **Estação Palmeiras-Barra Funda**, em São Paulo, um dos complexos de transporte mais movimentados da América Latina. Apesar da viabilidade técnica, o desafio econômico persiste devido ao alto custo inicial de implementação, como estimado em estudos para outras estações (OLIVEIRA; LAPENNA JÚNIOR, 2023). Assim, o objetivo deste artigo

é realizar uma **análise de viabilidade técnica e econômica** da implementação de um sistema piezoelétrico na estação, aproveitando o fluxo de pedestres para propor um modelo de modernização sustentável para outras infraestruturas críticas no Brasil.

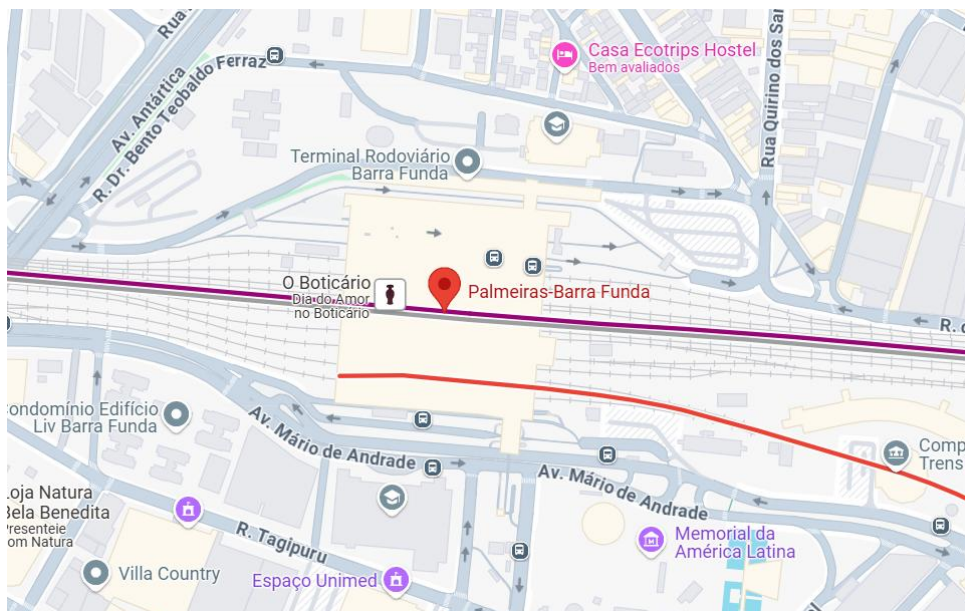
II. METODOLOGIA

Neste artigo parte de uma revisão bibliográfica, a qual baseou-se na coleta de dados de fontes governamentais e especializadas. Empregou uma abordagem metodológica estruturada em duas frentes principais, com o objetivo de realizar um estudo de viabilidade abrangente para a implementação de um sistema de geração piezoelétrica na Estação Palmeiras-Barra Funda, em São Paulo. Esta metodologia foi concebida para quantificar o potencial energético do fluxo de pedestres, analisar os custos associados à tecnologia piezoelétrica e determinar a viabilidade econômica e operacional do projeto.

2.1 Área de estudo

O estudo foi focado na Estação Palmeiras-Barra Funda, localizada na zona oeste da capital paulista. Esta estação foi selecionada por ser um dos principais nós de transporte urbano do país, integrando linhas de metrô (Linha 3-Vermelha), trens metropolitanos (CPTM Linhas 7-Rubi e 8-Diamante) e um grande terminal rodoviário. A região apresenta grande fluxo diário de pessoas, e a estação serve como ponto de conexão para diversas linhas de transporte público, evidenciando seu grande fluxo diário de pessoas e sua função como ponto de conexão para diversas linhas de transporte público, como é possível observar na Figura 1.

Figura 1 – Localização geográfica da estação Palmeiras-Barra Funda, no município de São Paulo.



Fonte: Google Maps, 2025.

2.2. Dinâmica metodológica

A execução do projeto foi dividida em duas frentes de trabalho distintas, porém complementares: a caracterização da Estação Palmeiras-Barra Funda e a coleta de dados, e os cálculos energéticos e econômicos

2.2.1 Frente 1 – Caracterização da Estação Barra Funda e coleta de dados

Esta frente teve como objetivo principal a quantificação do potencial da "fonte de energia", ou seja, o fluxo de pedestres na Estação Palmeiras-Barra Funda, e a obtenção de informações detalhadas do fabricante das placas piezoelétricas. Para a caracterização da área de estudo e análise energética, foram consultados os seguintes recursos para:

- Coleta de Dados de Fluxo e Custo de Energia: Inicialmente, buscou-se verificar junto a unidades competentes, como a prefeitura, o Sistema Integrado de Informação ao Cidadão (SIC.SP), o Metrô de São Paulo e a ENEL, a disponibilidade de dados consolidados sobre a quantidade diária de passageiros (entrada e saída) em horários de pico, entropico e noturno, bem como informações sobre o custo da energia elétrica da estação.
- Em relação aos custos de energia, foi verificado que o Metrô se enquadra na Subclasse de Serviço Público, conforme resolução da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (2021). A distribuidora ENEL, responsável pelo fornecimento de energia em São Paulo, oferece as modalidades tarifárias Convencional e Branca e o menor custo do MW para a Subclasse de Serviço Público, na modalidade tarifária Branca, resultante da soma da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e da Tarifa de Energia (TE).
- Trabalho de Campo (contingência): Caso os dados de fluxo não estivessem disponíveis junto às unidades competentes, seria realizado um trabalho de campo. Este consistiria no mapeamento das áreas de alta circulação de pedestres (acessos a catracas de todas as linhas integradas, plataformas, corredores de transferência entre modais, escadas/escadas rolantes/elevadores e terminal rodoviário). Seria considerada a utilização de equipamentos específicos para contagem de fluxo de pessoas, como sensores de pressão em tapetes ou placas piloto temporárias para dados diretos de "passadas" e força aplicada em pontos específicos, ou sistemas de vídeo análise com software de processamento de imagem para estimar volume e densidade de pessoas em áreas maiores. A escolha dependerá da precisão requerida, da escala do teste de campo e dos recursos disponíveis, e a aquisição desses equipamentos seria incluída no orçamento do projeto.
- Caracterização e Aquisição de Informações sobre as Placas Piezoelétricas: A tecnologia proposta para a geração de energia é o piso V3 da empresa britânica Pavegen Systems, que utiliza piezeletricidade para gerar até 5 watts de energia por pisada. Foram considerados os custos de instalação e a eficiência energética das placas, com base em estudos como os de Ribeiro e Ferreira (2021).

2.2.2. Frente 2 – Cálculos Energéticos e Econômicos

Para os cálculos energéticos e econômicos utilizados na frente 2, aplicam-se as seguintes equações:

1. Acionamentos diários (AC) = NP x 2
2. Potência diária gerada (W gerado) = AC x 5
3. Potência mensal (MW gerados no mês) = W gerado x 25
4. Cálculo do payback se divide em 3 partes:

Primeira parte - Economia mensal: MW gerados no mês x menor custo do MW na tabela da ENEL

Segunda parte - Sabendo que a estação tem 6 escadas, e que em cada uma utiliza-se 20 placas piezoelétricas, faz-se 10.000 (valor de cada placa) x 120.

Terceira parte - Payback: Valor gasto na compra das placas ÷ economia mensal


Esta metodologia detalhada permitiu uma avaliação sistemática do potencial energético e da viabilidade econômica da implementação da tecnologia piezoelétrica na Estação Palmeiras-Barra Funda, fornecendo dados concretos para subsidiar futuras decisões estratégicas, analisando os dados operacionais do metrô e as regulamentações tarifárias vigentes, proporcionando um panorama realista para a implementação do projeto.

III. RESULTADOS

3.1 A Estação Palmeiras-Barra Funda e os dados de fluxo

Com o objetivo de realizar uma análise que beneficie a cidade de São Paulo e outras localidades com logística metroviária semelhante, é fundamental estabelecer uma parceria com a empresa Metrô SP, responsável pela operação da rede metroviária da cidade. A disponibilização de dados por parte da empresa possibilita uma avaliação mais precisa e confiável sobre diversos aspectos da operação, como os intervalos entre trens, a lotação, o peso, as dimensões e o consumo energético dos equipamentos, como ocorre com os dados encontrados na Tabela 1. Entre esses, destaca-se o consumo de energia de tração dos trens, que representa uma parcela significativa dos custos operacionais da empresa.

Tabela 1 – Informações sobre a demanda de passageiros da linha vermelha do metrô – 2022 (em milhares)



INFORMAÇÕES SOBRE A DEMANDA - 2024

Demanda de Passageiros por Estação - Média Dias Úteis³ (em milhares)

LINHA 3-VERMELHA													
Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Corinthians-Itaquera	64	70	73	72	73	73	70	75	76	73	72	68	72
Artur Alvim	47	53	55	55	55	56	52	55	56	56	57	52	54
Patriarca-Vila Ré	18	21	22	22	22	22	21	22	22	22	23	21	22
Guilhermina-Esperança	18	20	21	21	21	21	20	22	22	21	21	19	21
Vila Matilde	22	26	27	27	27	27	25	27	27	27	28	25	26
Penha-Lojas Besni	23	27	28	28	28	28	25	28	29	28	29	25	27
Carrão-Assaí Atacadista	35	47	51	51	50	46	39	49	51	45	50	40	46
Tatuapé	101	88	75	74	74	75	66	75	76	76	78	78	78
Belém	32	36	37	37	37	37	35	37	38	43	39	34	37
Bresser-Moóca	25	29	32	32	31	30	27	31	32	31	32	28	30
Brás	48	65	76	75	74	76	74	75	75	76	76	77	72
Pedro II	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15
Sé¹	172	198	207	207	205	202	188	204	208	209	213	192	200
Anhangabaú	45	48	51	51	51	51	49	51	52	51	54	49	50
República	107	118	120	122	121	120	115	120	121	121	124	113	119
Santa Cecília	19	22	23	23	23	23	21	23	23	23	23	21	22
Marechal Deodoro	22	25	26	26	26	26	24	26	26	26	26	24	25
Palmeiras-Barra Funda	126	141	144	143	136	132	123	129	135	137	138	126	134
Total	939	1.049	1.086	1.080	1.071	1.060	988	1.065	1.086	1.081	1.097	1.006	1.051

¹ Corresponde à soma dos usuários que embarcaram na Linha 3-Vermelha com as transferências da Linha 1-Azul

² Indicador influenciado pela mudança nos hábitos de viagem dos passageiros, em decorrência da pandemia de COVID-19.

Fonte: Setor de Operações do Metrô de São Paulo

Segundo a resolução que versa sobre as classes e subclasses de consumo de energia elétrica, o Metrô se enquadra na Subclasse de Serviço Público (ANEEL, 2021). Sendo

assim, a distribuidora ENEL, que fornece energia para a cidade de São Paulo, conta com dois tipos de tarifas: Tarifa Convencional e Tarifa Branca (ENEL, 2024). O custo do MWh para a Subclasse de Serviço Público, custa R\$ 375,45 de Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TUSD) mais R\$ 255,39 de tarifa de energia (TE) totalizando assim um custo de R\$ 630,84 por MWh, ou no mínimo R\$ 290,62 de (TUSD) mais R\$251,72 de (TE) totalizando assim um custo de R\$ 540,34 por MWh na modalidade tarifária Branca, como consta no Quadro 1 e 2.

Quadro 1 – Modalidade tarifária convencional
MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL

SUBGRUPO / CLASSE / SUBCLASSE	Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TUSD)	Tarifa de Energia (TE) – BVD
-	(R\$/MWH)	(R\$/MWH)
B1 – RESIDENCIAL	373,17	263,07
B1 – RESIDENCIAL – BAIXA RENDA:	-	-
- Consumo mensal até 30KWh	95,98	89,39
- Consumo mensal entre 31 e 100 KWh	164,54	153,23
- Consumo mensal entre 101 e 220 KWh	246,82	229,85
- Consumo mensal superior a 220 KWh	274,24	255,39
B2 – RURAL	373,17	263,07
B2 – COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	373,17	263,07
B2 – SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO	375,45	263,18
B3 – DEMAIS CLASSES	373,17	263,07
B4 – ILUMINAÇÃO PÚBLICA	-	-
Iluminação Pública (B4a)	205,25	144,69
Iluminação Pública (B4b)	223,90	157,84

Fonte: Resolução homologatória nº 3.339/2024 da ANEEL

Quadro 2 – Modalidade tarifária branca

MODALIDADE TARIFÁRIA BRANCA						
SUBGRUPO / CLASSE / SUBCLASSE	Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TUSD)			Tarifa de Energia (TE)		
	Ponta	Intermediário	Fora Ponta	Ponta	Intermediário	Fora Ponta
	(R\$/MWH)	(R\$/MWH)	(R\$/MWH)	(R\$/MWH)	(R\$/MWH)	(R\$/MWH)
B1 - RESIDENCIAL	858,81	567,43	276,05	387,96	251,72	251,72
B2 - RURAL	907,37	596,57	285,76	387,96	251,72	251,72
B2 - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	907,37	596,57	285,76	387,96	251,72	251,72
B2 - SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO RURAL	914,60	600,92	287,23	388,12	251,82	251,82
B3 - DEMAIS CLASSES	931,65	611,13	290,62	387,96	251,72	251,72

Fonte: Resolução homologatória nº 3.339/2024 da ANEEL

3.2 Coleta de dados das placas piezelétricas

A empresa britânica Pavegen System desenvolveu o piso V3, que utiliza a tecnologia de piezeletricidade para gerar até cinco watts de energia por pisada. De acordo com o fabricante (PAVEGEN, 2019), as placas do piso são triangulares, com dimensões de 50 cm x 43 cm. O custo médio de um kit, composto por uma placa V3 e três geradores, é de R\$ 10.000,00, sem incluir as despesas de frete (RIBEIRO e FERREIRA, 2021).

Neste projeto, propõe-se a instalação de plataformas de 1,10 m², cada uma contendo 10 placas piezelétricas. Para maximizar a geração de energia, essas plataformas seriam posicionadas nos acessos de entrada e saída das escadas rolantes. Essa localização estratégica garante que todas as pessoas que utilizam as escadas — seja para entrar, sair ou se deslocar entre linhas — pisem obrigatoriamente nas placas, considerando que cada pessoa acione ao menos duas delas em sua passagem.

Figura 2 – Escadas rolantes e plataformas piezoelétricas



Fonte: (OLIVEIRA; LAPENNA JÚNIOR, 2023)

3.3 Frente 2: Cálculos energéticos e Econômicos

De posse do fluxo de pessoas da estação Barra-Funda e das informações do fabricante das placas piezelétricas, pode-se estimar o acionamento diário (AC – Equação 1), a potência diária gerada (W gerado - Equação 2) e a potência mensal gerada (MW gerados no mês – Equação 3).

Tendo em vista que para obter acesso ao metrô, os passageiros passam pelas escadas rolantes e sabendo que cada pessoa deverá pisar em uma placa piezoelétrica para acessar a escada, e logicamente o metrô, e mais uma vez para sair, multiplicamos o fluxo médio de pessoas que transitam pela estação Barra-Funda por 2.

$$\text{Acionamentos (AC)} = \text{Número de pessoas (NP)} \times 2. \quad (1)$$

$$\text{Acionamentos (AC)} = 134.000 \times 2$$

$$\text{Acionamentos (AC)} = 268.000$$

Dessa forma, se cada usuário pisar pelo menos duas vezes em cada placa, obtém-se no mínimo 268 mil acionamentos por dia.

$$W \text{ gerado} = AC \times 5. \quad (2)$$

$$W \text{ gerado} = 268.000 \times 5$$

$$W \text{ gerado} = 1.340.000$$

Segundo os cálculos, o resultado é de 1.340.000 W ou 1,34 MW por dia.

Levando em consideração que esse fluxo ocorre somente em dias úteis, multiplicamos o resultado por 25, que correspondem a quantidade de dias úteis do mês.

$$MW \text{ gerados no mês} = W \text{ gerado} \times 25. \quad (3)$$

$$MW \text{ gerados no mês} = 1,34 \times 25$$

$$MW \text{ gerados no mês} = 33,5$$

Sendo assim, o sistema é capaz de gerar até 33,5 MW por mês com o fluxo de pessoas da estação.

Considerando que com a implantação do projeto seria economizado aproximadamente 33,5 MW, e com base na tabela da ENEL o menor custo do MW é de R\$540,34, a economia seria de R\$18.101,39 por mês. Dessa forma, o retorno do investimento de R\$1.200.000,00 se daria em aproximadamente 67 meses.

IV. CONCLUSÃO

A técnica utilizada neste estudo investigou a implementação de um sistema de geração de energia piezoelétrica na Estação Palmeiras-Barra Funda, em São Paulo, aproveitando o intenso fluxo de pedestres para produzir energia limpa. O objetivo foi comparar a viabilidade dessa tecnologia em pisos de alta circulação com sua aplicação em trilhos ferroviários, analisando aspectos como eficiência, custos e durabilidade. A pesquisa baseou-se em trabalhos de autores como Lima, Santos e Duarte (2024), que destacam a maturidade tecnológica dos pisos piezoelétricos, enquanto Shan et al. (2022, 2024) demonstram a inviabilidade da aplicação em trilhos devido a custos elevados e fragilidade dos materiais.

A metodologia incluiu a proposta de instalação de placas Pavegen V3 em áreas estratégicas da estação, com cálculos de geração energética e análise econômica. Os resultados indicaram que o sistema poderia gerar 1,34 MW por dia (33,5 MW/mês), proporcionando uma economia mensal de aproximadamente R\$ 18.101,39 e um retorno do investimento em cerca de 67 meses. Em contraste, a aplicação em trilhos mostrou-se inviável, com baixa eficiência e custos proibitivos de manutenção.

Concluiu-se que a piezoelectricidade em pisos é uma solução promissora para diversificar a matriz energética urbana, apesar dos desafios relacionados a custos iniciais e necessidade de sistemas robustos de armazenamento. Para avançar, recomenda-se a otimização de materiais e a realização de testes em condições reais, visando consolidar essa tecnologia como uma alternativa sustentável para cidades inteligentes.

V. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução homologatória nº 3.339/2024**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 10 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ed. 239, p. 124, 21 dez. 2021.

ENEL DISTRIBUIÇÃO SÃO PAULO. **Tarifas de energia elétrica - 2024**. Disponível em: <https://www.eneldistribuicaoosp.com.br>. Acesso em: 10 jun. 2025.

FREITAS, Giovana Souza; DATHEIN, Ricardo. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. *Nexus Econômicos*, v. 7, n. 1, p. 71-93, jan./jun. 2013.

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

MONTEIRO, Felipe Bonfim; CARVALHO, Hanna Freitas Mignot de. **Análise da Utilização de Materiais Piezelétricos em Vias de Redes Metroviárias para Geração de Energia Limpa**. 2019. 84 f. Projeto Final (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2019.

OLIVEIRA, Silas Gabriel Leonel de; LAPENNA JÚNIOR, Sabino. O uso de placas piezoelétricas na estação de metrô Sé. In: **Engenharia elétrica e de computação: Docência, pesquisa e inovação tecnológica 2**, 2023. cap. 7, p. 85-96.

PAVEGEN. **Pavegen V3: Product Specification Sheet**. 2019. Disponível em: <https://www.pavegen.com>. Acesso em: 10 jun. 2025.

RIBEIRO, F. S.; FERREIRA, G. P. Análise do potencial de geração de energia elétrica por piso piezoelétrico em ambientes urbanos. *Revista Brasileira De Iniciação Científica*, 3(3), 36–52. 2021.

SHAN, Guansong; KUANG, Yang; ZHU, Meiling. Design, modelling and testing of a compact piezoelectric transducer for railway track vibration energy harvesting. *Sensors and Actuators A: Physical*, v. 347, art. 113980, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113980>.

SHAN, Guansong; WANG, Dong; ZHU, Meiling. Piezo stack energy harvesters with protection components for railway applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, v. 373, art. 115454, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.115454>.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à docente responsável pela disciplina de Metodologia Científica, Maria Claudia Costa De Oliveira Botan, pelo suporte acadêmico, orientação e contribuições fundamentais.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.