

CAPTAÇÃO E GERAÇÃO DE ENERGIA NO PAVIMENTO RODOVIÁRIO COM A APLICAÇÃO DE CÉLULAS PIEZOELÉTRICAS

Bruno Cavalcante Mota¹

Suely Helena de Araújo Barroso²

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO

A piezoelectricidade surge como possibilidade de microgeração de energia em pavimentos rodoviários, a partir do tráfego de veículos e pedestres. O objetivo desta pesquisa é investigar o potencial elétrico de células piezoelétricas aplicadas em pavimentos, a fim de contribuir na redução do impacto das energias no ambiente. Foram desenvolvidas análises multifísicas para otimização da configuração do protótipo e dos materiais piezoelétricos em *software* computacional. Será realizado o ensaio de fadiga nos corpos de revestimento asfáltico com o protótipo de células piezoelétricas inseridas entre eles, aplicando frequências e cargas distintas por uma máquina universal de testes. Os resultados preliminares mostram, através das simulações multifísicas, que foi possível identificar que quanto maior o espaçamento e menor a quantidade de células no protótipo, mais energia é gerada. Espera-se, ainda, verificar a capacidade elétrica em laboratório e ambiente real para abastecimento de residências e instrumentos de iluminação e tráfego na própria rodovia.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de captação de energia pode ser definido como a transformação direta de energia ambiente (hidráulica, solar, eólica, mecânica, térmica, etc.) para energia elétrica utilizando um determinado material ou mecanismo de transdução. Alguns dos materiais de captação de energia mais comuns são: (i) painéis solares fotovoltaicos, para transformar energia solar em energia elétrica; (ii) geradores termoelétricos para converter em energia elétrica diferenciais de temperatura e (iii) transdutores eletromecânicos (piezoelétricos, geradores eletrostáticos) para conversão da vibração proveniente da energia mecânica em energia elétrica.

O pavimento recebe em sua estrutura o tráfego de milhões de veículos que, conseqüentemente, geram vibrações em suas camadas, principalmente no revestimento, em casos de pavimentos flexíveis. Essas vibrações podem, não só causar danos ao pavimento, mas também ocasionar um desperdício de energia, visto a quantidade de energia liberada pelos veículos (Zhu *et al.*, 2012). Os materiais com propriedades piezoelétricas geram uma tensão elétrica quando induzidos por estresse ou deformações variáveis com o tempo. Sendo assim, essas vibrações são capazes de gerar eletricidade suficiente para a alimentação de semáforos, sistemas de monitoramento estrutural de saúde e para carregar veículos elétricos (Niasar *et al.*, 2019).

Algumas pesquisas já foram desenvolvidas, em níveis simulatórios, laboratoriais e aplicações em campo, de forma a demonstrar o potencial de geração de energia piezoelétrica. Xiang *et al.* (2013) e Zhang *et al.* (2016) investigaram a quantidade de energia gerada para uma velocidade de 108 km/h. Os primeiros autores observaram que seria possível gerar em torno de 5 W para um módulo de *Winkler* próximo de zero. Os segundos observaram uma saída máxima de energia de 41,2 e 47,26 mW, para a carga de uma e quatro rodas, respectivamente. Moure *et al.* (2016) observaram que, após a realização de ensaios com células piezoelétricas, foram observadas densidades energéticas na faixa de 40-50MWh/m², obtidas a cada 100 m de estrada (utilizando 30.000 células piezoelétricas), que podem representar mais de 65 MWh em um ano. Roshani *et al.* (2018) realizam testes laboratoriais com dois protótipos, nos quais verificam que os protótipos I e II são capazes de gerar até 1.487 mW e 64,12 mW,

respectivamente, para caminhões trafegando a 65 km/h e até 33 mW e 1,36 mW para os protótipos I e II, respectivamente, quando os veículos são carros de passeio, na mesma velocidade.

No Brasil, Heller *et al.* (2019) utilizaram transdutores piezoelétricos em vibração livres em uma praça de pedágio na BR-290. A potência máxima foi de 19,2 μ W para uma caixa com 4 transdutores. Enquanto Mota (2019) realizou análises multifísicas em células piezoelétricas, simulando a aplicação em ambiente real, no qual seria capaz de gerar até 2,514 GW por ano com um tráfego de 600 veículos por dia, a uma velocidade de 65 km/h.

Considerando que pesquisas na área de Energia \times Pavimentos ainda não estão em estágios avançados no Brasil e diante da necessidade de inserção de alternativas limpas de geração de energia na sociedade atual, o objetivo geral desta pesquisa é investigar a potencialidade da piezoeletricidade como fonte de energia renovável aplicada no pavimento. Para isso, foram delineados também os seguintes objetivos específicos: (i) avaliar a quantidade de energia gerada no protótipo por meio de simulações multifísicas e ensaio laboratorial; (ii) otimizar o protótipo piezoelétrico, de forma a maximizar a quantidade de energia gerada e diminuir o estresse exercido e (iii) verificar a funcionalidade em campo do protótipo proposto.

2. ETAPAS METODOLÓGICAS

2.1. Primeira etapa: simulações multifísicas

Como relatado em Ding *et al.* (2018) e Roshani *et al.* (2018), a posição e a quantidade de células piezoelétricas influenciam na quantidade de energia gerada, contudo, não foram expostos valores. Dessa forma, nesta etapa foram realizadas simulações em *software* de análises multifísicas, o COMSOL, com o arranjo de quatro (4), oito (8) e dezesseis (16) células piezoelétricas, além de um arranjo alternativo com maiores espaçamentos para o arranjo com 4.

O protótipo proposto consiste em células piezoelétricas com 8,56 mm de diâmetro e 6,2 mm de espessura inseridas entre duas placas quadradas de cobre com 10,00 cm de lado e 6,00 mm de espessura cada, entrepostas entre dois blocos de revestimento asfáltico com 5,00 cm na camada superior e 10,00 cm na camada inferior e ambos com 10,00 cm de diâmetro. O bloco de revestimento inferior não foi representado nesta etapa. No protótipo foram aplicadas cargas de 44,5 kN e 6,7 kN, equivalentes a roda de um caminhão e um carro comum, respectivamente. Além da aplicação das cargas, foram aplicadas frequências de 5 a 40 Hz, simulando velocidades dos veículos nas rodovias. A título de análise, foram consideradas apenas as frequências de 10 Hz e 20 Hz, que representam 65 km/h e 129 km/h, respectivamente, assumindo um comprimento de influência de carga de 1,8 m.

Dessa forma, sucederam-se análises das frequências e cargas adotadas no tocante a quantidade de saída de energia, em mW, e da voltagem gerada, em V, além do estresse acumulado nas células e a verificação da resistência interna do protótipo. Na Tabela 1 são expostas as coordenadas de cada célula entre as placas de cobre e a Figura 1 apresenta o arranjo proposto para dezesseis células, demonstrando ainda como as cargas são distribuídas no modelo. As coordenadas do arranjo alternativo não se encontram na Tabela 1, contudo, é possível obtê-las, reduzindo ou acrescentando 8,56 mm no eixo x ou y, nas células 1 a 4, a depender do eixo mais próximo da borda.

Tabela 1: Coordenadas das células piezoelétricas, em mm.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x	50.0	21.4	50.0	78.6	35.7	35.7	64.3	64.3	20.0	80.0	80.0	20.0	8.6	50.0	91.4	50.0
y	21.4	50.0	78.6	50.0	35.7	64.3	35.7	64.3	20.0	80.0	20.0	80.0	50.0	8.6	50.0	91.4
z	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

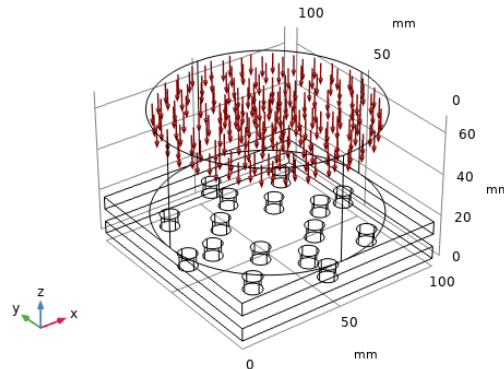


Figura 1: Protótipo proposto com dezesseis células e carregamento aplicado.

2.2. Segunda etapa: ensaio laboratorial

Com a definição do arranjo otimizado e da quantidade de células no protótipo, será prosseguido o ensaio laboratorial de fadiga nos corpos de revestimento asfáltico com o protótipo das células piezoelétricas inserido entre eles, aplicando-se o carregamento axial usando uma *Universal Testing Machine* (UTM). O teste, então, será conduzido sob cada combinação das seguintes condições: (i) carga de *Haversine* com valor do peso de uma roda de veículo pesado e uma roda de veículo de passeio (44,5 kN e 6,7 kN), além de cargas menores (1 kN, 2 kN e 3 kN) para elaboração de modelo de correlação; (ii) três frequências de carregamento de 5 Hz, 10 Hz e 20 Hz, correspondentes às velocidades veiculares aproximadas de 32 km/h, 65 km/h e 129 km/h, assumindo um comprimento de influência da carga de 1,8 m e (iv) serão consideradas as mesmas combinações de elementos piezoelétricos (4, 8 e 16). Dessa forma, serão realizadas 135 combinações de frequência, quantidade de células piezoelétricas e carregamento semi-senoidal na direção axial. As saídas elétricas serão monitoradas por um multímetro acoplado nas placas de cobre.

2.3. Terceira etapa: aplicação em ambiente real

A etapa final será proveniente da aplicação de um protótipo em ambiente real para ser avaliada a eficiência do sistema. O ambiente sugerido será em um trecho que possua elevado volume de tráfego, além de velocidade permitida de até 65 km/h, para que seja possível a comparação com o ensaio laboratorial. Espera-se, com a aplicação do protótipo, elencar o potencial da piezoelectricidade como tecnologia de microgeração de energia, bem como os pontos fracos para soluções em pesquisas futuras.

3. RESULTADOS PRELIMINARES E ESPERADOS

Transcorreu-se a primeira etapa da pesquisa científica, na qual, para uma velocidade de 65 km/h, geraram-se 506 mW por roda de caminhão e 11,50 mW por roda de veículo comum, no protótipo com quatro células piezoelétricas mais espaçadas. Em relação à configuração inicialmente pensada para as 4 células, exposta na Tabela 1, ocorreu um aumento de 5% na quantidade de energia gerada. Além disso, foi possível perceber que o estresse nas células piezoelétricas foi reduzido em 31% para caminhões e 32% para veículos comuns, sendo

fundamental para a maior durabilidade do protótipo. Percebeu-se ainda que quanto maior a quantidade de células, menor a quantidade de energia gerada. O aumento de energia acontece com o estabelecimento de um maior espaçamento entre as células. A Figura 2 apresenta os principais resultados obtidos nesta etapa.

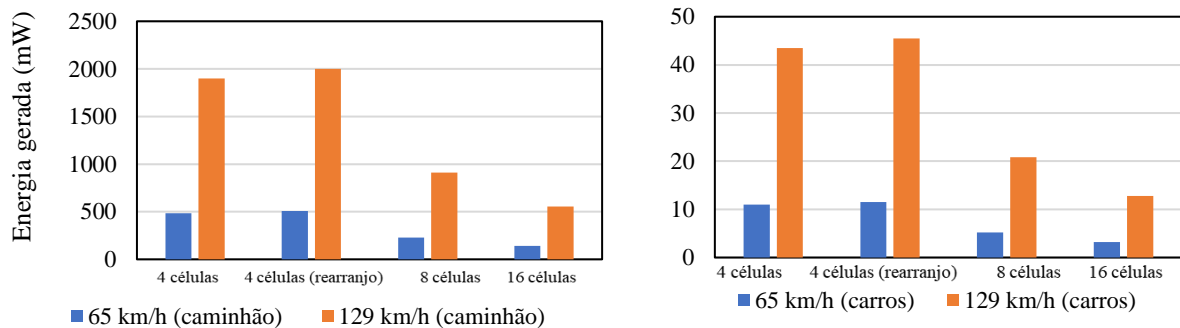


Figura 2: Quantidade de energia gerada pelos protótipos

Espera-se, com as próximas etapas da pesquisa, obter a correlação entre as simulações realizadas e os testes realizados com o ensaio de fadiga na UTM, além de observar a real eficiência e eficácia das células, permitindo propor a sua aplicação em ambientes reais de rodovias, identificando as condições de velocidade, tráfego e carga, bem como a posição otimizada do protótipo na pista. Com a etapa final, espera-se obter a quantidade total de energia gerada no ambiente real, possibilitando o redirecionamento do seu uso para abastecer residências e instrumentos da própria via, como iluminação e semáforos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de mestrado do primeiro autor, à Rede Tecnológica de Asfaltos, financiada pela Petrobras e ao Laboratório de Telecomunicações e Ciência e Engenharia de Materiais pela concessão da licença do *software* COMSOL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ding, G.; Zhao, X.; Sun, F. e Wang, J. (2018) Effect of subgrade on piezoelectric energy harvesting under traffic loads. *International J. of Pavement Engineering*, v. 19, n. 8, p. 661–674.
- Heller, L.; Brito, L.; Johnston, M. e Nunez, W. (2019). Microgeração de energia em pavimentos: um estudo de caso em uma rodovia em serviço. *Estradas*, v. 24, n. 1, p. 20-25.
- Mota, B. C. (2019) *O pavimento como instrumento de geração de energia para o desenvolvimento sustentável de cidades inteligentes*. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. UFC. Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Moure, A.; Rodríguez, M.; Rueda, S.; Gonzalo, A.; Rubio-Marcos, F.; Cuadros, D. e Fernandez, J. (2016). Feasible integration in asphalt of piezoelectric cymbals for vibration energy harvesting. *Energy Conversion and Management*, v. 112, p. 246–253.
- Niasar, E. H.; Dahmardeh, M. e Googarchin, H. S. (2019). Roadway piezoelectric energy harvester design considering electrical and mechanical performances. *J. of Mechanical Engineering Science*, v. 0, n. 0, p. 1-17.
- Roshani, H.; Jagtap, P.; Dessouky, S.; Montoya, A. e Papagiannakis, A. (2018). Theoretical and Experimental Evaluation of Two Roadway Piezoelectric-Based Energy Harvesting Prototypes. *J. of Materials in Civil Engineering*, v. 30, n.2, p. 04017264.
- Xiang, H.; Wang, J.; Shi, Z. e Zhang, Z. (2012). Theoretical analysis of piezoelectric energy harvesting from traffic induced deformation of pavements. *Smart Materials and Structures*, v. 22, p. 095024.
- Zhang, Z.; Xiang, H. e Shi, Z. (2016). Modeling on piezoelectric energy harvesting from pavements under traffic loads. *J. of Intelligent Material Systems and Structures*, v. 27, n. 4, p. 567–578.
- Zhu, L.; Chen, R. e Liu, X. (2012). Theoretical analyses of the electronic breaker switching method for nonlinear energy harvesting interfaces. *J. of Intelligent Material Systems and Structures*, v. 23, n. 4, p. 441-451.

(1) brunomota@det.ufc.br; (2) suely@det.ufc.br