

SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Francisco Duarte¹, [Adelino Ferreira](#)¹

¹Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, CITTA, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos, 3030-788, Coimbra, Portugal

email: adelino@dec.uc.pt <http://www.uc.pt/ftuc/dec>

Sumário

A visão para o setor das energias renováveis passa pela diversificação, apostando não apenas em tecnologias já comprovadas que possam dar um contributo imediato, mas também na investigação e desenvolvimento de novas tecnologias em fase de teste/demonstração que apresentem potencial de criação de valor.

Um sistema de geração de energia instalado nos pavimentos rodoviários em zona urbana, associado a lombas redutoras de velocidade, permitirá produzir uma quantidade apreciável de energia através do movimento dos veículos.

O artigo proposto tem uma estrutura constituída por quatro partes distintas. Na primeira parte do artigo é efetuada uma introdução ao tema da geração de energia nos pavimentos rodoviários. Na segunda parte do artigo faz-se a descrição do sistema Waynergy Vehicles, um sistema inovador de geração de energia elétrica nos pavimentos rodoviários pela passagem dos veículos em lombas redutoras de velocidade, desenvolvido pela empresa Waydip em colaboração com o Laboratório de Mecânica de Pavimentos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra. Na terceira parte do artigo descreve-se a implementação do sistema Waynergy Vehicles numa estrada urbana do município da Covilhã e analisam-se os resultados obtidos. Finalmente, apresentam-se as considerações finais e referem-se os trabalhos a desenvolver futuramente.

Palavras-chave: geração de energia; pavimentos rodoviários; lombas redutoras de velocidade.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Internacional de Energia [1], em 2011, a nível mundial, mais de 80% da produção de energia foi realizada a partir de combustíveis fósseis. Este facto leva à necessidade urgente de mudar o paradigma na geração de energia elétrica, não só devido à inconstância do custo dos combustíveis fósseis, que afeta as economias mundiais, mas sobretudo devido aos seus efeitos nefastos sobre o meio ambiente.

Atualmente, mais de 50% da população mundial vive em cidades [2], prevendo-se que em 2050 este número aumente em mais 3 bilhões de pessoas, levando a um fenómeno denominado por urbanização global. Isto irá levar a um aumento no consumo de energia nas cidades, local onde esta é maioritariamente consumida, sendo no entanto quase sempre produzida fora das mesmas.

Deste modo, são necessárias novas formas e técnicas de produção de energia elétrica, bem como a adoção em massa de técnicas de eficiência energética, implementando um conceito de redes inteligentes. Serão essas redes inteligentes que permitirão a injeção na rede elétrica de energia produzida por novas fontes, tais como a energia produzida a partir de novas fontes de captação de energia, como a circulação de veículos em pavimentos rodoviários [3].

Consequentemente, para reduzir os custos de transporte e distribuição da energia elétrica, é necessário aproveitar toda a energia que possa ser produzida no interior das cidades, perto dos pontos de consumo. É aqui que os

pavimentos têm um papel importante a desempenhar. Nas cidades, os veículos deslocam-se sob pavimentos rodoviários e, cada vez que estes se movem, libertam energia mecânica para o pavimento. Esta energia não é normalmente captada nem usada para nada, mas pode ser convertida em energia elétrica. Existe um vasto número de locais no interior das cidades que podem ser utilizados para instalar sistemas capazes de captar a energia mecânica dos veículos e converter a mesma noutros tipos de energia, como a elétrica.

Foi desenvolvido em Portugal, pela empresa Waydip com a colaboração do Laboratório de Mecânica de Pavimentos da Universidade de Coimbra, um novo sistema de *energy harvesting* para aplicação em pavimentos rodoviários, denominado *Waynergy Vehicles* [4]. Este artigo descreve o sistema *Waynergy Vehicles*, bem como a implementação de 10 módulos deste sistema em ambiente real. Os objetivos desta aplicação consistem na avaliação do desempenho do sistema em serviço, tanto em termos de geração de energia elétrica como da fiabilidade do sistema.

2 DESENVOLVIMENTOS RECENTES EM SISTEMAS DE *ENERGY HARVESTING* EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Energy harvesting é um conceito onde a energia é capada, convertida, armazenada e utilizada a partir de várias fontes disponíveis na natureza, utilizando interfaces de captação e conversão, dispositivos de armazenamento e outras unidades [5].

Para esta finalidade, foram identificadas tanto "micro" fontes de *energy harvesting*, como "macro" fontes de *energy harvesting* (eólica, solar, hídrica e energia dos oceanos) [6]. As que têm maior potencial para aplicação em cidades são apresentadas a seguir:

- Movimento, vibração ou energia mecânica: pavimentos, calçadas, transferência de energia por parte de veículos durante a travagem, entre outros. O transdutor eletromecânico pode ser eletromagnético, eletrostático, piezoelétrico, etc.;
- Eletromagnética: internet *wireless*, comunicações via satélite, rádio, televisão, radiodifusão multimédia digital, etc. Não se deve confundir fonte de energia eletromagnética com transdutor eletromagnético;
- Gradientes térmicos: a radiação solar impõe gradientes térmicos em diferentes superfícies, os quais podem ser utilizados para converter as variações de temperatura em energia elétrica, utilizando tecnologias apropriadas.

A partir destas tecnologias, existem dois grupos com um enorme potencial para aplicação em pavimentos rodoviários, usando duas fontes de energia diferentes: tecnologias que utilizam a radiação solar para converter a energia recebida em eletricidade; e tecnologias que utilizam as cargas dos veículos (energia potencial e cinética) para transformar as mesmas em energia elétrica.

2.1 Conversão de energia solar em energia elétrica

A empresa *Solar Roadways* [7] desenvolveu um sistema coletor solar para substituir as camadas superiores dos pavimentos rodoviários, o qual recebeu um financiamento de \$100.000 da *Federal Highway Administration* (EUA) em 2009 para o desenvolvimento e construção do primeiro protótipo do sistema *Solar Road Panel*. Este sistema consiste numa série de painéis solares estruturalmente modificadas que são capazes de suportar as cargas dos veículos, os quais são aplicados na camada superior do pavimento rodoviário, captando a energia solar e convertendo a mesma em energia elétrica através do efeito fotovoltaico.

Cada painel possui três camadas: uma camada base ao nível do pavimento rodoviário; uma camada constituída por placas eletrónicas com células fotovoltaicas; e uma camada superficial de elevada resistência. Esta camada final é suficientemente resistente para suportar as cargas dos veículos, devendo ao mesmo tempo apresentar um coeficiente de atrito que permita boas condições de segurança. A camada eletrónica, para além das células fotovoltaicas, possui um microprocessador com circuitos de suporte para detetar cargas na superfície, controlar a

utilização da energia gerada, etc. A camada de base, para além de servir para fixação ao pavimento rodoviário existente, distribui a energia e dados para edifícios residenciais, comerciais ou industriais ligados ao sistema.

Até ao momento, apesar de algumas imagens de protótipos testados internamente pela empresa, nenhuma aplicação em ambiente real é conhecida, não estando ainda o produto disponível no mercado.

2.2 Conversão de gradientes térmicos em energia elétrica

Os gradientes térmicos entre as camadas de um pavimento representam um potencial recurso que pode ser aproveitado para geração de energia elétrica. O uso de geradores termoelétricos (TEG) em pavimentos pode converter a temperatura acumulada devido à sua exposição solar em energia elétrica. Wu e Yu [8] estudaram a aplicação destes módulos termoelétricos na superfície do pavimento rodoviário e, através de simulações computacionais, tentaram otimizar a conceção de um sistema deste tipo. Eles concluíram que o fator mais importante para aumentar a eficiência de conversão de um sistema desta natureza é a diferença de temperatura entre a superfície superior e a superfície inferior do módulo termoelétrico, pelo que propuseram que a superfície inferior do módulo fosse ligada à fundação do solo, usando materiais condutores térmicos muito eficientes, a fim de aumentar a transferência de calor, e a superfície superior do módulo fosse ligada à camada superior do pavimento, maximizando assim a produção de energia elétrica. O projeto encontra-se ainda em desenvolvimento, mas os dados revelados de testes experimentais realizados revelaram eficiências de conversão muito baixas, inferiores a 5%.

2.3 Conversão de energia mecânica em energia elétrica

A tecnologia piezoelétrica é uma das mais utilizadas para converter energia potencial e cinética em energia elétrica. Estes componentes geram energia elétrica quando lhes é induzida pressão mecânica. Beeby *et al.* [9] constataram que os componentes piezoelétricos podem ser desenvolvidos a partir de diferentes materiais, tais como o cristal (por exemplo, quartzo), materiais piezocerâmicos (por exemplo, titanato zirconato de chumbo, ou PZT), materiais de películas finas (por exemplo, óxido de zinco), ou ainda materiais poliméricos, tais como polivinilideno (PVDF). Os pavimentos rodoviários podem suportar uma enorme quantidade de cargas durante a sua vida útil, originando tensões, deformações e vibrações, que correspondem a energia induzida pela passagem de veículos. Assim, Zhao *et al.* [10] propuseram e estudaram a aplicação de transdutores piezoelétricos em pavimentos rodoviários para converter a energia mecânica libertada por veículos em energia elétrica. Estes autores concluíram que o potencial elétrico de um transdutor era de cerca de 97,3 V por cada atuação de um veículo, mas a energia elétrica que poderia ser gerada era somente de 0,06 J, um valor muito baixo, sendo assim necessário realizar mais estudos de otimização deste tipo sistema.

A empresa *Innowattech* [11] de Israel desenvolveu três sistemas [12-14] piezoelétricos para conversão da energia mecânica libertada por veículos em energia elétrica. Os vários sistemas foram desenvolvidos e materializados em protótipos e o que apresentou melhores resultados foi alvo de uma instalação em ambiente real em 2010. No entanto, os resultados obtidos não foram divulgados, não tendo o projeto avançado para o mercado.

A empresa *Genziko* [15] dos EUA está a desenvolver um sistema de *energy harvesting* para pavimentos rodoviários baseado no efeito piezoelétrico, o qual foi patenteado pelos seus autores [16-17]. Não foram ainda revelados dados sobre a sua eficiência e o produto não está ainda disponível no mercado, pelo que se considera que o projeto ainda está em fase de desenvolvimento laboratorial.

Para além dos sistemas piezoelétricos, outros sistemas têm sido desenvolvidos com base em geradores eletromagnéticos, com atuação eletromecânica ou hidráulica.

Em termos de sistemas de atuação hidráulicos, Horianopoulos e Horianopoulos [18] desenvolveram um dispositivo que capta a energia mecânica de veículos nos pavimentos, referindo uma capacidade de geração de energia de 51 kWh com a passagem de 10.000 veículos ao longo de 50 metros [19], o que é proporcional a 367 J por metro, por veículo, uma média de 91,8 J por roda, um valor muito elevado. No entanto, este valor não é suportado por qualquer prova científica e o peso médio do veículo utilizado no estudo não é apresentado. Na sua

patente [18], os princípios de funcionamento da tecnologia encontram-se descritos, mas sem referência à eficiência de conversão. Com base neste sistema, os autores criaram a empresa *KinergyPower International Corporation* [19] nos EUA.

Em termos de sistemas eletromecânicos, Pirisi [20] desenvolveu um sistema que descreve como sendo um gerador linear de ímãs permanentes (TPM-Lig), acionado por um dispositivo eletromecânico de implementação em pavimentos rodoviários, capaz de converter a energia libertada por veículos em energia elétrica, reivindicando uma eficiência de conversão de 85% [21], usando um protótipo numa escala de 1:10, em laboratório. Este valor refere-se somente à eficiência de conversão do gerador. O sistema carece ainda de validação à escala real. O projeto deu origem à empresa *Underground Power* [22] em Itália.

3 WAYNERGY VEHICLES

Duarte *et al.* [23, 24] desenvolveram um sistema de captação de energia cinética libertada sobre o pavimento pelo movimento de pessoas e respetiva conversão em energia elétrica, denominado *Waynergy People*, o qual é composto por blocos que podem ser aplicadas em pavimentos, com um mecanismo de geração de energia elétrica contido no seu interior, que é acionado por um sistema eletromecânico sempre que ocorre um deslocamento da sua superfície, originado pelo movimento de uma pessoa [25]. Os autores do sistema criaram a empresa *Waydip* [26] em Portugal. No seguimento deste projeto, os autores desenvolveram o sistema *Waynergy Vehicles* [27], em parceria com o Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da Universidade de Coimbra. O sistema é apresentado na Figura 1.

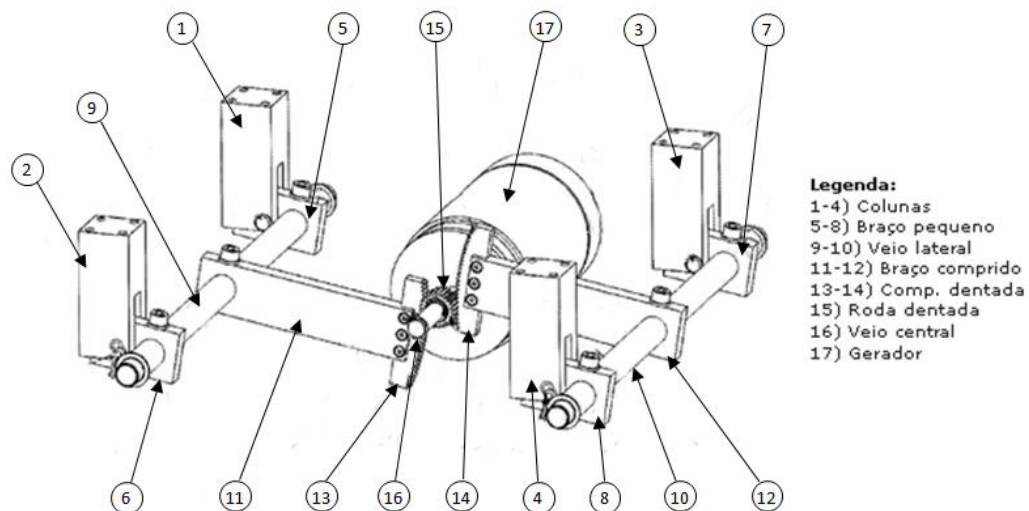


Fig. 1. Sistema Waynergy Vehicles [27]

O desenvolvimento de um protótipo com este sistema, bem como os resultados alcançados nos testes em ambiente controlado, foram apresentados por Duarte *et al.* [4]. O protótipo apresentado tinha as dimensões de 0,7x0,8x0,2 m³, e um deslocamento da superfície de 10 mm, induzido sempre que o sistema é ativado pela passagem de uma roda de um veículo. Foi registada uma geração de energia elétrica de 92,0 J, na passagem de um veículo de 2.000 kg (atuação somente por duas rodas do veículo), a 50 km/h, registando-se uma potência de pico de 190,0 W nestas condições. Concluiu-se que a velocidade a que o veículo passa sobre o protótipo tem uma grande influência na geração de energia elétrica. Para além disso, a geração de energia elétrica aumenta de forma proporcional ao peso do veículo, tendo a maior quantidade de energia elétrica sido registada com um veículo de peso igual a 2.000 kg, o maior peso considerado nos ensaios.

4 INSTALAÇÃO EM AMBIENTE REAL

4.1 Introdução

Após os testes do protótipo inicial do sistema *Waynergy Vehicles*, foram realizadas algumas otimizações no sistema, de modo a prepará-lo para um teste em ambiente real, onde seria submetido a condições climáticas adversas, bem como a condições de tráfego muito diversas, tanto em termos de pesos de veículos, como de velocidades e afluência de tráfego.

Nos testes em ambiente real, os objetivos consistem na medição do número total de veículos que passam sobre o sistema por dia, a sua velocidade média e a quantidade total de energia gerada por atuação, utilizando-se um sistema de monitorização desenvolvido pela *Waydip* para a instalação piloto.

4.2 Implementação de uma instalação piloto na Covilhã

Para a seleção da localização da instalação piloto, devem ser tidas em conta algumas considerações em relação às regras de engenharia de tráfego. Em primeiro lugar, a utilização de redutores de velocidade na superfície dos módulos *Waynergy Vehicles* tornam este sistema numa medida de acalmia de tráfego, pelo que a sua aplicação é restrita a vias distribuidoras locais e estradas de acesso local, onde a acessibilidade é preponderante relativamente à mobilidade, ou a vias distribuidoras principais, em locais onde a velocidade necessita ser controlada, tal como nas entradas de rotundas, ou na aproximação de passadeiras.

Para maximizar a geração de energia, o local de aplicação deve ter o máximo de tráfego possível. Considerando-se a distribuição do tráfego da cidade da Covilhã, a entrada principal na cidade é a estrada com a maior concentração de tráfego. No entanto, esta estrada é uma distribuidora principal, pelo que a aplicação de medidas de acalmia do tráfego só podem ser consideradas antes de uma rotunda ou antes de uma passadeira, onde a velocidade é limitada e controlada. Além disso, esta aplicação representa a primeira instalação dos módulos *Waynergy Vehicles* em ambiente real, sendo o processo de instalação também testado pela primeira vez, pelo que algumas incertezas podem levar ao encerramento da estrada durante alguns períodos para operações de manutenção, sendo necessário ter uma via alternativa para o tráfego circular nesses períodos.

Perante todas estas considerações, foi identificada e selecionada uma via para implementação do sistema piloto que combina todas estas características, incluindo o respetivo percurso alternativo (Figura 2). O local está situado à saída de uma rotunda, antes de uma passadeira, onde existe um limite de velocidade, podendo-se assim utilizar redutores de velocidade no local.



Fig. 2. Localização para a instalação piloto na cidade da Covilhã

A estrada selecionada tem duas vias em cada sentido e um Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) de 6.500 veículos por dia na direção selecionada (entrada da cidade), com 80% dos veículos a circular na via da direita. Assim, a instalação piloto constituída por 10 módulos *Waynergy Vehicles* foi implementado na via da direita, depois da rotunda, com um TMDA esperado de 5.200 veículos por dia. Como esta localização é imediatamente a seguir à entrada da cidade, o limite de velocidade é de 50 km/h, ideal para a geração de energia por parte do sistema.

A instalação dos módulos *Waynergy Vehicles* no pavimento rodoviário foi um dos principais desafios deste projeto. No local escolhido o pavimento é flexível, pelo que os módulos não podiam ser aplicadas diretamente sobre uma das camadas do pavimento devido à necessidade de uma base rígida para fixar e manter os módulos. Assim, foram projetadas caixas de betão, construídas para sustentar as cargas dos veículos nas quais os módulos foram fixados. Estas caixas de betão foram posteriormente inseridas no pavimento.

Cada caixa de betão contém um módulo *Waynergy Vehicles*, tubos para o escoamento de água e tubos para a saída de cabos elétricos. Na Figura 3 é apresentado o processo de instalação do sistema *Waynergy Vehicles*, com a marcação da área do pavimento a ser removida; em seguida, o pavimento rodoviário sem as camadas superiores, bem como sem uma parte significativa da camada de base; em seguida, as caixas de betão inseridas no pavimento; e, finalmente, os módulos *Waynergy Vehicles* instalados nas caixas de betão. A Figura 4 mostra o sistema totalmente instalado, com o pavimento rodoviário já finalizado com as restantes camadas.



Fig. 3. Processo de implementação do sistema *Waynergy Vehicles*



Fig. 4. Instalação piloto do sistema *Waynergy Vehicles*

4.3 Testes e resultados obtidos

Depois de um período inicial de um mês, definido como o período de adaptação dos utilizadores à existência do sistema no pavimento, os resultados foram monitorizados, com todas as variáveis definidas anteriormente. Em termos do número de veículos que passaram por dia nos módulos *Waynergy Vehicles*, foram registados em média 3.500 veículos, o que representa apenas 67,3% dos 5.200 veículos esperados por dia. Em relação à velocidade média, era esperado um valor entre os 40 e os 50 km/h. No entanto, a velocidade média medida foi somente de 23,5 km/h, cerca de 50% da velocidade esperada. Como consequência da velocidade de circulação média mais baixa, a geração de energia elétrica foi diretamente afetada.

A Figura 5 representa a energia elétrica gerada durante um dia. É possível verificar a partir desta Figura que os períodos de pico de geração de energia são equivalentes aos períodos de pico de tráfego. Num dia, a quantidade total de energia elétrica gerada foi de cerca de 502.000,0 J, equivalente a 139,6 Wh. Considerando o tráfego e o número de módulos, isto representa uma geração de energia de cerca de 143,0 J por passagem de veículos, 14,3 J de energia gerada por cada módulo *Waynergy Vehicles*. A Figura 6 representa a geração de energia elétrica diária, durante um mês. Pode-se verificar que nalguns dias (fins de semana) a geração de energia elétrica foi inferior, principalmente devido ao decréscimo do volume de tráfego. É também possível verificar que a geração de energia elétrica foi gradualmente decrescente, devido à degradação de alguns componentes dos módulos *Waynergy Vehicles*. A geração de energia média por dia foi de 469.421,0 J, equivalente a 130,0 Wh, e a quantidade total de energia gerada durante um mês foi de 14.522.055,0 J, equivalente a 4.042,0 Wh.

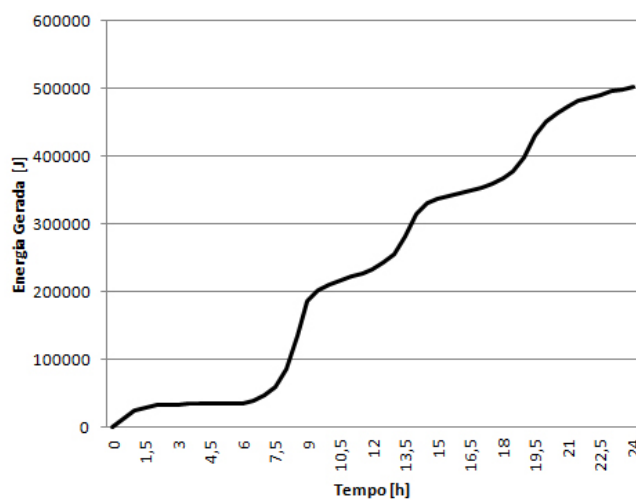


Fig. 5. Energia elétrica gerada durante um dia, na instalação piloto

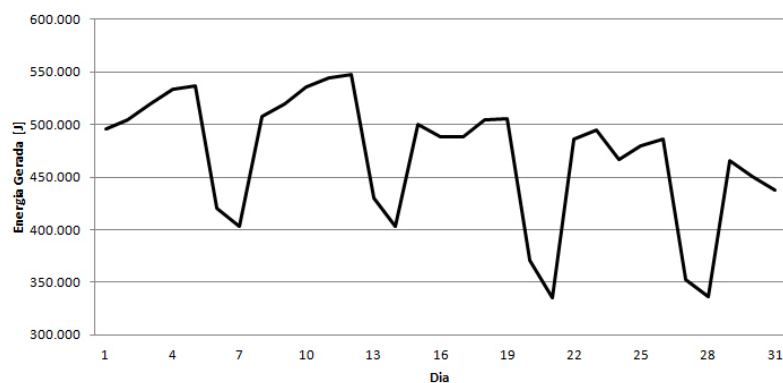


Fig. 6. Energia elétrica gerada diariamente, durante um mês, na instalação piloto

5 CONCLUSÕES E INVESTIGAÇÃO FUTURA

Os sistemas de *energy harvesting* em pavimentos rodoviários têm evoluído de forma interessante ao longo dos últimos anos. Tanto os sistemas piezoelétricos como os sistemas eletromagnéticos são soluções adequadas para captar uma parte da energia libertada pelo movimento de veículos sobre o pavimento, que normalmente é perdida, e para converter essa energia em energia elétrica.

Após o desenvolvimento e validação experimental de um sistema eletromecânico, denominado *Waynergy Vehicles*, para conversão da energia liberada por veículos em energia elétrica [4], este trabalho apresenta a implementação deste sistema em ambiente real, com uma instalação piloto constituída por de 10 módulos.

Nesta instalação piloto foi registado um valor médio de geração de energia elétrica de 14,3 J por módulo. No entanto, a velocidade média de circulação foi inferior a 25 km/h, o que pode ser apontado como a principal causa para a baixa geração de energia elétrica do sistema. A localização da instalação piloto pode também ser identificada como a principal razão para a baixa velocidade de circulação, o que nos permite concluir que este tipo de aplicações deve ser implementado em zonas onde os veículos necessitem de reduzir a sua velocidade, mas onde entrem com uma velocidade entre os 40 e 50 km/h (por exemplo, antes de uma rotunda), podendo-se assim comparar diretamente os resultados de geração de energia elétrica com o protótipo inicial.

Além disso, a transição entre o pavimento flexível e as caixas de betão (que apresentam um comportamento semelhante aos pavimentos rígidos) revelou uma deformação excessiva do pavimento rodoviário, com o abaixamento junto às caixas de betão. Devido a este facto, a entrada dos veículos na zona dos módulos *Waynergy Vehicles* foi condicionada, tendo os veículos de reduzir a sua velocidade antes de passar nos referidos módulos. A baixa velocidade de circulação dos veículos originou uma redução do valor de energia gerada.

Como atividades futuras, este projeto de investigação em *energy harvesting* em pavimentos rodoviários seguirá quatro direções principais. Em primeiro lugar, o processo de integração dos módulos *Waynergy Vehicles* no pavimento será revisto de modo a ter uma transição consistente e suave entre o pavimento flexível e os módulos, sem interferir com a velocidade do veículo e, conseqüentemente, com a geração de energia elétrica. Em segundo lugar, o material que constitui a superfície dos módulos *Waynergy Vehicles* será otimizado de modo a apresentar todas as características exigidas a um pavimento rodoviário e absorver a menor quantidade possível de energia, maximizando a energia transmitida para o sistema de conversão. Em terceiro lugar, serão feitos esforços para otimizar os componentes do sistema *Waynergy Vehicles*, incluindo o desenvolvimento de uma tecnologia para armazenar a energia elétrica gerada. Em quarto lugar, o sistema *Waynergy Vehicles* será instalado numa zona de redução de velocidade de uma estrada urbana, para gerar energia elétrica a partir do movimento de veículos, que será utilizada não só para carregar baterias, mas também para injeção na rede elétrica, ou aplicação direta em equipamentos elétricos, tais como iluminação pública, semáforos, etc.

6 AGRADECIMENTOS

Este trabalho de investigação foi realizado no âmbito do projeto *WAYNERGY VEHICLES - Electric Energy Generation System Using the Movement of Vehicles* (CENTRO-07-0202-FEDER-024580) e continua atualmente no âmbito do projeto *PAVENERGY – Pavement Energy harvest Solutions* (PTDC/ECM-TRA/3423/2014). O autor Francisco Duarte agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia, pelo apoio financeiro concedido através da Bolsa SFRH/BD/95018/2013.

7 REFERÊNCIAS

1. IEA, Key World Energy Statistics 2013, International Energy Agency, Paris, França, Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>, 2013.
2. Buhaug, H. e Urdal, H., An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities, *Global Environmental Change*, 23(1), 1-10, 2013.
3. Ferreira, A., Briefing: Recent developments in pavement energy harvest systems, *Municipal Engineer*, 165(4): 189–192, 2012.
4. Duarte, F., Champalimaud, J. e Ferreira, A., Waynergy Vehicles: an innovative pavement energy harvest system, *Proceedings of the 2nd International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials*, CD Ed., pp. 1-6, Oludeniz, Turkey, 2014.
5. Khaligh, A. e Onar, O., *Energy harvesting: solar, wind, and ocean energy conversion systems*, CRC Press Inc., 2010.
6. Harb, A., Energy Harvesting: State-of-the-art, *Renewable Energy*, 36, pp. 2641-2654, 2010.
7. SR, Solar Roadways. <http://www.solarroadways.com/main.html>. Acedido em Fevereiro, 2015.
8. Wu, G. e Yu, X., “Thermal Energy Harvesting Across Pavement Structure”, Transportation Research Board (TRB), Annual Meeting, Washington, USA, 2012.
9. Beeby, S., Tudor, M. e White, N., Energy harvesting vibration sources for microsystems applications, *Journal of Measurement Science and Technology*, 17, 175-195, 2006.
10. Zhao, H., Yu, J. e Ling, J., Finite element analysis of Cymbal piezoelectric transducers for harvesting energy from asphalt pavement, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 118(1382), 909-915, 2010.
11. Innowattech, <http://www.innowattech.co.il/>. Acedido em Julho, 2015.
12. Abramovich, H., Milgrom, C., Harash, E., Azulay, L. e Amit, U., Multi-layer modular energy harvesting apparatus, system and method, US Patent US 20100045111 A1, Feb, 2010a.
13. Abramovich, H., Harash, E., Milgrom, C., Azulay, L., Tsikhotsky, E. e Amit, U., Modular Piezoelectric Generators, International Patent Application No. PCT/IL2009/000365, Patent WO 2010116348 A1, Oct., 2010b.
14. Abramovich, H., Milgrom, C., Harash, E., Azulay, L., Amit, U. e Klein, G., Piezoelectric-based weight in motion system and method for moving vehicles, International Patent Application No. PCT/IL2011/000741, Patent WO 2012038955 A1, Mar., 2012.
15. Genziko, <http://www.genziko.com/>. Acedido em Dezembro, 2015.
16. Bowen, L. e Near, C., Low voltage piezoelectric actuator, US Patent No. 6,111,818, Aug., 2000.
17. Near, C., Power Generator, US Patent No. US 20130207520 A1, Aug., 2013.
18. Horianopoulos, D. e Horianopoulos, S., Traffic-actuated electrical generator apparatus, International Patent Application No. PCT/CA2006/001710, Patent No. WO 2007045087 A1, Apr., 2007.
19. Kinergy Power, <http://www.kinergypower.com/index.shtml>. Acedido em Dezembro, 2015.
20. Pirisi, A., System for converting potential or kinetic energy of a body weighting upon or travelling over a support or transit plane into useful energy, US Patent No. US 20120248788A1, Oct., 2012.
21. Pirisi, A., Mussetta, M., Grimaccia, F. e Zich, R., Novel Speed-Bump Design and Optimization for Energy Harvesting From Traffic, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(4), pp. 1983-1991, 2013.
22. Underground Power, <http://www.upgen.it/>. Acedido em Dezembro, 2015.
23. Duarte, F., Casimiro, F., Correia, D., Mendes, R. e Ferreira, A., Waynergy People: a new pavement energy harvest system, *Municipal Engineer*, 166(4), 250-256, 2013a.

24. Duarte, F., Casimiro, F., Correia, D., Mendes, R. e Ferreira, A., A new pavement energy harvest system, *Proceedings of the International Renewable and Sustainable Energy Conference*, CD Ed., irsec13_paper_37.pdf, pp. 1-6, Ouarzazate, Morocco, 2013b.
25. Duarte, F. e Casimiro, F., Pavement module for generating electric energy from the movement of people and vehicles, International Patent Application No. PCT/IB2011/052164, Patent WO 2011145057 A2, World Intellectual Property Organization (WIPO), Switzerland, 2011.
26. Waydip, Energia e Ambiente, Lda, Covilhã, Portugal. See <http://www.waydip.com/>. Acedido em Dezembro, 2015.
27. Duarte, F. e Casimiro, F., Electromechanical system for electric energy generation and storage using a surface motion, International Patent Application No. PCT/IB2013/050616, Patent WO 2013114253 A1, World Intellectual Property Organization (WIPO), Switzerland, 2013.