

Geração de energia elétrica na construção de asfalto Sustentável com aplicação de pastilhas piezoelétricas

Igor Gabriel de Campos Gonçalves (Faculdade Una- Unidade Sete Lagoas) igordecampos27@gmail.com

Joana Patrícia de Matos Santos (Faculdade Una- Unidade Sete Lagoas) joanapmsantos@hotmail.com

Igor José (Faculdade Una- Unidade Sete Lagoas) Victor-igorj.victor1997@hotmail.com

Fabício da Silva Ramos (Faculdade Una- Unidade Sete Lagoas) fabricioramos29@hotmail.com

Erlano Campos dos Reis (Faculdade Una- Unidade Sete Lagoas) erlanoc@yahoo.com.br

Resumo:

No cenário atual, existem várias pesquisas e estudos à procura de geração de energias alternativas e sustentáveis, buscando minimizar os custos e maximizar os lucros, o que tem motivado inúmeras propostas por parte da sociedade em todo o mundo. Nesse contexto, este projeto consiste em pesquisas, coleta de dados, informações e construção de um artefato funcional com a utilização de pastilhas de piezoelétricas e outros materiais com objetivo de que, quando caminarmos ou passarmos com o carro sobre o asfalto, seja possível gerar energia por meio da velocidade e da força-peso, transformando essa energia mecânica gerada em energia elétrica. Para o desenvolvimento deste projeto, foram consultados materiais escritos por estudiosos e outros pesquisadores do assunto, citações, artigos e livros relacionados a inovações sobre energia sustentável, à transformação e ao reaproveitamento de energia. Para construção do protótipo, foram utilizadas pastilhas piezoelétricas e as placas de materiais recicláveis, uma vez que estas seriam uma junção perfeita de sustentabilidade com os materiais recicláveis e o custo-benefício com a geração de energia elétrica limpa. Para determinação da potência gerada, foi utilizado um peso de 500g para simular um automóvel no decorrer da placa asfáltica e foram traçados dois segmentos de reta espaçados entre si a uma distância de 0,38m e cronometrado o tempo gasto para percorrer esse percurso. Com isso, o resultado obtido em uma escala real foi de 144,78 W.

Palavras-chaves: Piezoelétrica, Energia sustentável, Asfalto sustentável.

Electric power generation in the construction of sustainable asphalt with application of piezoelectric pads

Abstract

In current scenario, there are several researches and studies looking for generation of alternative energies and sustainable, seeking to minimize costs and maximize profits, which has motivated numerous proposals on the part of society throughout the world. In this context, this project consists in research, data collection, information and construction of a functional artifact with the use of piezoelectric pads and other materials with the aim that, when to move or move with the car on the asphalt, it is possible to generate energy by means of speed and strength-to-weight ratio, transforming this mechanical energy into electrical energy generated. For the development of this project, were consulted materials written by scholars and other researchers on the subject, quotes, articles and books related to innovations on sustainable energy, the processing and the reuse of energy. For the construction of the prototype, were used piezoelectric pads and plates of recyclable materials, since these would be a perfect junction of

sustainability with the recyclable materials and the cost-benefit analysis with the generation of electrical energy clean. For determination of power generated, it was used a weight of 500g to simulate a car during the asphalt plate and were traced two straight segments spaced between themselves at a distance of 0.38m and timed the time spent to go this route. With this, the result obtained in an actual scale was 144.78 W.

Key words: Piezoelectric, sustainable energy, sustainable asphalt.

1. Introdução

No cenário atual, existem várias pesquisas e estudos à procura de geração de energias alternativas e sustentáveis, buscando minimizar os custos e maximizar os lucros, o que tem motivado inúmeras propostas por parte da sociedade em todo o mundo. Por um lado, por meio do desenvolvimento de tecnologias inovadoras; por outro lado, por meio do aproveitamento de energias renováveis que permitem otimizar energia sem prejudicar o ambiente. Como o automóvel é o meio de transporte mais utilizado pelas pessoas para se deslocarem e como há pressão exercida pelos veículos na pavimentação, pode-se utilizar dessa forma essa situação para geração de energia a partir das estradas.

Segundo Razavi B. (2006) & Wikipédia (2013) *apud* Guilherme Farias & Alexandre Sallum (2013), estudantes da UNICAMP, “...mediante as variadas possibilidades energéticas viáveis atualmente, o uso de tecnologias alternativas, vem cada vez mais ganhando força. Entre tantas opções, os cristais piezoelétricos vêm chamando a atenção por serem materiais que sob a aplicação de uma determinada pressão, geram um pulso elétrico como resposta, seguindo coeficientes de transdutância específicos para cada material...”. Hoje, esses cristais já ocupam espaço expressivo em diversas aplicações, entre elas, captadores de som, aparelhos de ultrassom, medidores de pressão, aquecedores domésticos e, em alguns projetos mais específicos, alimentação de luzes e sinalizadores (ATCP ENGENHARIA, 2010; UILTRA CERAM, 2013). A conversão piezoelétrica ocorre de maneira simples: a disposição eletrônica de alguns metais é tal que o centro de simetria das cargas elétricas positivas não coincide com o centro de simetria das cargas negativas. Isso faz com que haja um dipolo elétrico, que quando deformado na presença de um campo elétrico, gera uma corrente elétrica, podendo, também, ocorrer o inverso. Essa característica notável faz dos cristais piezoelétricos uma boa fonte de energia sustentável (REVISTA AMBIENTE CIÊNCIAS, 2013). Hoje no mundo, as placas piezoelétricas vêm sendo mais utilizadas, especialmente em projetos ousados, colaborando com a concepção de uso de energia limpa. Países como Inglaterra, Japão, Israel e Holanda, já contam com projetos implementados com sucesso, alguns dos quais bastante expostos pela mídia, como é o caso de uma discoteca na Inglaterra que projetou um “piso de dança” em que a energia dos dançarinos alimentaria o conjunto de luz local. Em Tóquio, no Japão, as cabines de ticket e os displays de sinalização do metrô também são alimentados por placas dessa natureza energética (JULIÃO, A. ET AL, 2013). De modo a utilizar o asfalto comum para a geração de energia limpa, a proposta é instalar placas piezoelétricas em grande parte das malhas rodoviárias e também em locais não asfaltados, para que a iluminação do local seja gerada apenas pelo fluxo constante de veículos.

Na busca de uma solução, o projeto consiste de pesquisas, coleta de dados, informações e construção de um artefato funcional com utilização de pastilhas de piezoelétricas e outros materiais com objetivo de, quando caminharmos ou passarmos com o carro sobre o asfalto, seja

possível gerar energia por meio da velocidade e da força peso, transformando essa energia mecânica gerada em energia elétrica.

2. Revisão Bibliográfica

Na construção sustentável, o uso de plástico tem sido cada vez mais utilizado e testado. Um dos mais recentes exemplos foi de um trio de empreendedores do Reino Unido, com o desenvolvimento de um asfalto de excelente qualidade produzido de maneira de baixo custo, uma vez que utiliza resíduos plásticos. O custo para fabricar um asfalto comum, apenas a massa asfáltica de 5cm de altura custaria R\$ 26,00/m². O trabalho completo, por outro lado, com sub-base (se necessário), base e drenagem poderia custar de R\$ 36,00 a R\$ 112,00/ m². Já no asfalto sustentável, uma vez que é constituído de materiais recicláveis de baixo custo como o plástico, o valor diminui para R\$ 16,00/ m², sendo que, para pavimentá-lo, o processo é semelhante ao do asfalto comum e o custo varia de R\$ 25,00 a R\$ 70,00/ m².

As cerâmicas piezoelétricas são corpos maciços semelhantes às utilizadas em isoladores elétricos. São constituídas de inúmeros cristais ferroelétricos microscópicos, sendo, inclusive, denominadas como policristalinas, (PEREIRA, ANTÔNIO HENRIQUE ALVES, 2010).

A lei de Joule (também conhecida como efeito Joule ou efeito térmico) é uma lei física que expressa a relação entre o calor gerado e a corrente elétrica que percorre um condutor em determinado tempo. Um resistor é um dispositivo que transforma a energia elétrica integralmente em calor, (BASSALO, JOSE MARIA FILARDO, 1998).

Quando o veículo movimentado sobre os asfaltos, a energia gasta no movimento é utilizada, principalmente, para vencer a resistência à rotação, e uma parte dessa energia é desperdiçada na geração de uma força em contato das rodas com o solo e uma deformação vertical - deformação no pavimento, conforme mostrado na figura 1. Segundo Innawattech (2010) *apud* Andreia C. A.C. Ferreira, Joel R.M. Oliveira & Rui A. R. Ramos (2012) essa deformação é proporcional ao peso do veículo e à rigidez do asfalto.

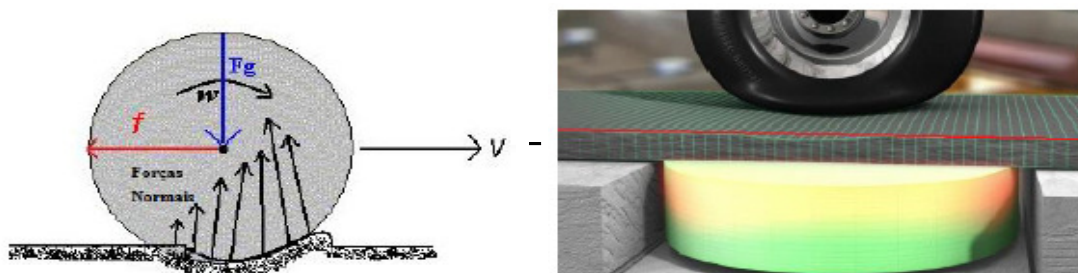


Figura 1: Força da roda no pavimento, deformação vertical associada à passagem da roda
(Adaptado de Innawattech, 2010)

Fonte: Tecnologias sustentáveis para a produção de energia a partir de estradas (2018)

Com a passagem do veículo sobre a pavimentação, é possível aproveitar a energia mecânica gerada pelos veículos, pois essa energia é o somatório da energia potencial e cinética, conforme equação (1).

$$E_{mec} = E_p + E_c \quad (1)$$

Onde, E_{mec} = Energia mecânica, E_p = Energia potencial gravitacional e E_c = Energia cinética.

Quando mais rápido o veículo se mover, maior será a sua energia cinética, e se o veículo estiver parado (repouso), a sua energia cinética será nula. A equação (2) demonstra a relação da energia cinética em relação à massa e à sua velocidade.

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2)$$

Onde, E_c = Energia cinética; m = Massa do corpo e v = Velocidade do corpo.

A energia potencial pode ser usada a qualquer momento para realizar o trabalho, normalmente armazenada num sistema.

Equação (3) expressa a energia potencial gravitacional (E_p) de um corpo que está relacionada com a posição que ele ocupa.

$$p = m g h \quad (3)$$

Onde, E_p = Energia potencial gravitacional, m = Massa do corpo, g = Aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$) e h = Altura.

Segundo Godoy, Tatiane Corrêa (2012), “O número de publicação a respeito de geração de energia tem crescido aceleradamente desde o ano 2000, sendo a viga ou placa em balanço a estrutura mais utilizada na literatura como base de estudo e é o modelo que representa uma série de aplicações, tais como braço robótico, helicópteros, trilhos de trens”. Esses sistemas, geralmente constituídos pela viga engastada com extremidade livre, contêm uma massa sísmica e sobre a viga/placa acoplam-se os transdutores piezoelétricos, conforme mostra a figura 2.

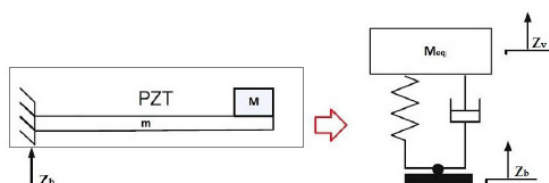


Figura 2: Viga engastada com massa sísmica em sua extremidade livre

Fonte: projeto, Otimização e Análise de incertezas de um dispositivo coletor de energia proveniente de vibrações mecânicas utilizando transdutores piezoelétricos e circuito ressonante, GODOY, TATIANE CORRÊA (2012).

Para o sistema da Figura 2, geralmente considerando um 1 grau de liberdade, pode-se obter a equação (4) pela a partir do Princípio de D'Alembert.

$$M \ddot{Z}_v + C \dot{Z}_v + K Z_v = - M \ddot{Z}_{br} \quad (4)$$

A equação (4) é uma equação diferencial homogênea de segunda ordem, onde: K : Constante de elasticidade; C : Constante de Amortecimento; M : Massa; Z_v e Z_{br} : os deslocamento verticais da extremidade da viga e da base, e $\ddot{Z}$ e $\dot{Z}$ suas acelerações e velocidades, respectivamente.

A solução geral possui três situações e, para identificar cada um destes, podem-se definir parâmetros adimensional denominado *fato de amortecimento*, dado pela razão, conforme a equação (5).

$$\zeta = c/\bar{c} = c/2\sqrt{km} \quad (5)$$

Portanto, tem-se $\zeta < 1$ para sistemas subamortecidos, $\zeta = 1$ para sistemas criticamente amortecido e $\zeta > 1$ para sistemas sobreamortecidos.

Com a deformação gerada pela atuação dos veículos na pavimentação, a potência gerada pelo transdutor piezoelétrico será maior quanto maior for a deformação. Portanto, a máxima potência mecânica gerada, $P_{\max}$, para o caso da Figura 2 será quando a frequência de excitação for a de ressonância, podendo ser obtida pela equação (6).

$$P_{\max} = (A^2 \omega^3 M)/4\zeta \quad (6)$$

Sendo A: amplitude de vibração; ω : a frequência natural (ou de ressonância) e ζ : fator de amortecimento, respectivamente (PRIYA, INMAN, 2009). A frequência natural é determinada pela Equação (7).

$$\omega = \sqrt{K/M} \quad (7)$$

De acordo com Oda, Sandra (2000), “O asfalto de plástico é um material mais prático, sustentável e mais resistente: no lugar de macadame, que é a base para o pavimento asfáltico, plástico reciclado é utilizado para construção das vias. Capazes de resistir a variações de temperaturas que vão de - 4°C a 80°C, as estradas podem ser, também, reparadas mais facilmente”.

3. Metodologia

Buscando viabilizar o custo do projeto para torná-lo mais barato e, ao mesmo tempo sustentável, seria de extrema importância utilizar materiais reciclados na realização deste. Para isso, foi necessário interligar as placas piezoelétricas e as placas de materiais recicláveis, uma vez que elas seriam uma junção perfeita de sustentabilidade com os materiais recicláveis e o custo benefício com a geração de energia elétrica limpa.

Pensando na fácil manutenção e montagem, o artefato (representação do asfalto) consiste em uma placa bipartida, que possui uma camada inferior, a qual vai direto à superfície do local destinado, uma camada do meio onde ficam os piezos e uma camada superior reforçada, onde passa o fluxo, gerando a deformação. O piezoelétrico consiste no aproveitamento da propriedade dos cristais, pois por falta de simetria de suas moléculas internas, este cria um campo elétrico com a sua deformação. Então, o piezo aproveita esse campo elétrico dissipando-o sobre o latão contido em sua lateral. Com a deformação, o piezo gera picos de energia, uma vez que esta pode ser captada e armazenada por capacitores e destinada às aplicações desejadas.

No desenvolvimento do projeto, estabeleceram-se os seguintes métodos:

3.1. Pesquisa bibliográfica

Para a realização desta pesquisa, foram consultados materiais escritos por estudiosos e outros pesquisadores do assunto, citações, artigos e livros relacionados a inovações sobre energia sustentável, à transformação e ao reaproveitamento de energia.

3.2. Construção do artefato funcional

3.2.1 Materiais do Protótipo

Para construção do protótipo, utilizaram-se os materiais de acordo com a Tabela 1 abaixo.

Descrição dos Materiais	Quantidades
Madeira MDF (50cm x 30cm)	1 unidades
Bastão de cola quente	3 unidades
Pastilhas piezoelétricas de 35mm	40 unidades
Cabos flexível de diâmetro de 1mm.	5m
Cabos flexível de diâmetro de 0,5mm.	2m
Estanho para solda 1mm	2m

Tabela1: Descrição dos matérias gastos no artefato funcional

Fonte: Próprio autor (2018)

3.2.2 Desenho do Projeto.

Após a etapa de pesquisa, o próximo passo foi a elaboração do projeto utilizando o AutoCard 2010, com o intuito de facilitar a visualização de como seria o protótipo e facilitar a visualização de onde seriam dispostas as placas piezoelétricas, de acordo com a figura 3.

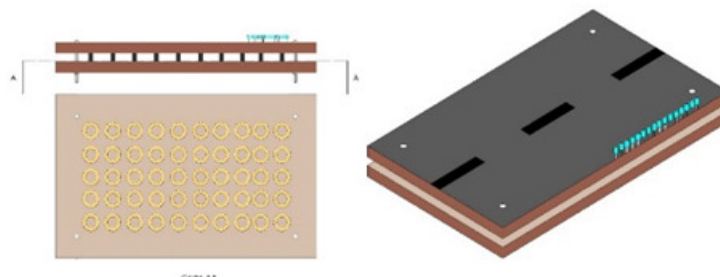


Figura 3: Projeto do Artefato funcional

Fonte: próprio autor (2018)

3.2.3 Desenvolvimento para construção do artefato funcional

Utilizou-se uma trena marca 3M e uma maquina para corte e preparação do MDF a fim de definir as dimensões de 43x45cm, Figura 4.



Figura 4: Corte das placas de madeiras

Fonte: próprio autor (2018)

Durante a segunda etapa de elaboração do protótipo, utilizou-se um lápis de carpinteiro Irwin para realizar a marcação de 38x26cm e para definir o centro exato para realizar a furação dos encaixes dos parafusos. Nos vértices do retângulo, realizou-se marcação dos furos com uma furadeira e broca de 5mm para centralização e, após a furação final, com uma broca de 8mm.

Com o auxílio de uma morsa e uma lixadeira, desbastamos os filetes dos parafusos para reduzir o atrito, deixando apenas 1/5 dos filetes. Figura 5 e 6.

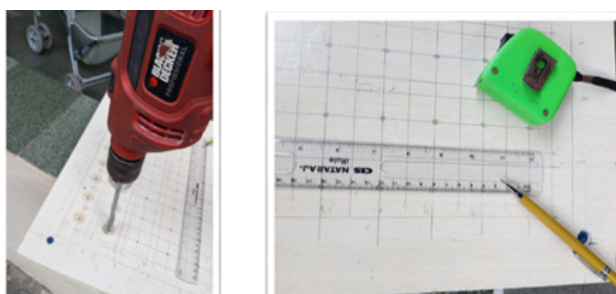


Figura 4 e 5: Confecção dos rebaixo e marcação dos furos, respectivamente.

Fonte: Próprio autor (2018)

O passo seguinte foi unir as duas placas com quatro parafusos M6 de cabeça abaulada e acionamento por fenda, oito arruelas e quatro porcas e passando uma mola helicoidal no corpo de cada parafuso. Nesse momento, foram realizados alguns testes de acionamentos das molas e sua compressão e, como o funcionamento estava correto, partiu-se para o próximo passo - realização da medição e cortes do bastão de cola, Figuras 6 e 7.



Figura 6 e 7: Medição da cola bastão e furação para união das placas, respectivamente

Fonte: Próprio autor (2018)

Em seguida, foram utilizadas as placas piezoelétricas e foram soldados os fios de Ø 0,5mm no terminal positivo (cristal de quartzo) e no terminal negativo (latão) da placa. Utilizou-se solda branca com arame de estanho de diâmetro de 1 mm.

Foi realizado um rebaixo de diâmetro de $\frac{3}{4}$ '' na placa de madeira na posição de cada piezo, foi colocado sobre os rebaixos uma folha de EVA, posicionados os piezos nas respectivas posições dos rebaixos e, em seguida, foram fixados com fita isolante. Foi construída uma rede mestra ao longo dos piezos, realizada a ligação em paralelo entre estes e, para fixá-la, foi utilizada uma fita isolante. Figura 8

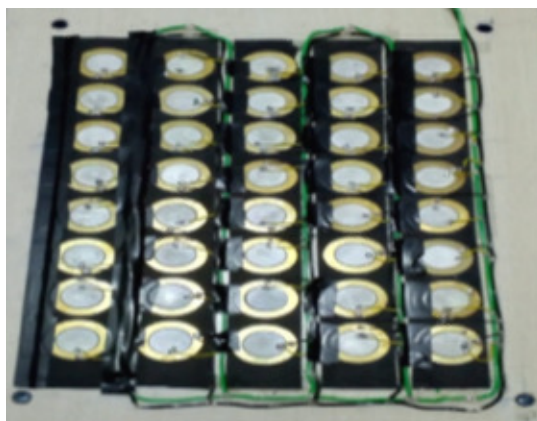


Figura 8: Disposição dos piezos

Fonte: Próprio autor (2018)

3.3. Coleta dos dados

Para realizar o teste de velocidade, utilizou-se um objeto cilíndrico de massa 500g, também foram acoplados em suas bordas dois bastões de cola e presos por uma fita adesiva (isolante) - figura 9 e 10. Para descobrir a velocidade do objeto, utilizou-se um cronômetro para verificar o tempo gasto a fim de percorrer uma faixa de 38 cm na placa. Com o voltímetro e o alicate amperímetro, coletou-se a tensão e a corrente gerada pelo sistema.



Figura 9 e 10: Materiais utilizados para aumentar a área de contato do objeto cilíndrico, com os piezos
Fonte: próprio autor (2018)

4. Resultados e Discussões

Para percorrer 38cm de pavimentação, utilizando-se uma massa de 500g, o tempo cronometrado foi de 1,96 segundos.

Com isso, a velocidade alcançada de acordo com a equação (8), foi de 0,1938m/s.

$$V=D/t \quad (8)$$

Onde, V: velocidade do corpo de 500g, D: distância percorrida pelo corpo e t: tempo percorrido pelo corpo.

Com o auxílio do voltímetro e amperímetro ligados ao sistema de geração de energia, foram obtidos os seguintes valores: 0,381 volts e 0,19 ampere, resultando numa potência de 0,07239W, que pode ser expresso pela equação (9).

$$P=V*I \quad (9)$$

Onde P: Potência, V: tensão e I: corrente.

Ao utilizar a equação, verificou-se um erro sistemático, quando foi utilizado o alicate wattímetro. O valor obtido pelo aparelho foi de 0,078W, erro esse explicado pelo erro presente no próprio aparelho.

Para saber o quanto geraria de energia se um veículo popular passasse sobre a placa, foi utilizado o peso médio de 1000 kg. Deve-se ressaltar que o cálculo utilizado não considerou veículos pesados e pedestres. Chegou-se a uma potência de 144,78W.

5. Conclusão

Este projeto é de suma importância para a sociedade, pois visa à sustentabilidade. O objetivo deste trabalho era mostrar que é sim possível gerar energia elétrica sem causar mais prejuízos à natureza, ou seja, de forma limpa, e a piezeletricidade nos garante isso. O protótipo gerou 381mvolts, uma corrente de 0,19 ampere, com isso, foi possível conseguir 0,073 W, resultado esse obtido em escalas reduzidas/demonstrativas, ou seja, na fabricação das placas de asfalto com piezoelétricos na realidade seria outra, pois possuem placas muito mais eficientes que essas. Na elaboração desse sistema para ser implementado nas rodovias, seria necessário o dimensionamento dos condutores, o que não foi feito no protótipo, pois seria possível conseguir aumentar ainda mais a eficiência do projeto porque seria possível prever as perdas oriundas da dissipação de energia, da resistência interna dos condutores. Além da geração de energia, um ponto importante a ser citado é o uso dos resíduos plásticos na fabricação do asfalto, já que é possível substituir o betume por esses compostos, o que seria fantástico para o meio ambiente,

pois além de baratear o custo do asfalto, possibilitaria retirar uma enorme quantidade desses resíduos da natureza.

6. Referências Bibliográficas

BASSALO, HOSE MARIA FILARDO. *Revista Brasileira de Ensino de Física.* Belém, Para. 1998; Vol.20, Nº1..

FARIAS, GUILHERME & SALLUM, ALEXANDRE. *Projeto de Geradores Piezoelétricos Para Iluminação No Restaurante Universitário da Unicamp.* Revista Ciências do Ambiente On-Line Novembro, 2013 Volume 9, Número 2.

FERREIRA, ANDREIA C.A; OLIVEIRA, JOEL R.M.; RAMOS, RUI A.R. *Tecnologias sustentáveis para a produção de energia a partir de estradas.* Publicado em: "Reabilitar o Urbano: Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - PLURIS 2012", ISBN 978 85-60762-08-8.

GODOY, TATIANE CORRÊA. *Projeto, Otimização e Análise de Incertezas de Um Dispositivo Coletor de Energia Proveniente de Vibrações Mecânicas utilizando Transdutores Piezelétricos e Circuito Ressonante.* Tese de Doutorado, São Carlos, São Paulo, 2012.

INNOWATTECH. *Energy Harvesting Systems.* 2010. Disponível em: < <http://www.innowattech.co.il/>>.

JULIÃO, A. *Energia limpa sob nossos pés.* 2013. Disponível em http://www.istoe.com.br/reportagens/73214_ENERGIA+LIMPA+SOB+NOSSOS+PES.

ODA SANDRA. *Análise da Viabilidade Técnica da utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação.* Tese de Doutorado, São Carlos, São Paulo, 2000.

PEREIRA, ANTÔNIO HENRIQUE ALVES. *"Cerâmicas piezoelétricas: funcionamento e propriedades."* São Carlos: ATCP Engenharia Física (2010).

PRIMA, S; INMAN, D.J. (Ed.). *Energy Harvesting Techonologies.* [S.I]: Springer, 2009.

RAZAVI B., 2006. *Fundamentals of microelectronics, Preview Edition.* Disponível em: <http://www.fulviofrisone.com/attachments/article/434/Wiley.pdf>

ULTRA CERAM. 2013. *Venda de produtos piezoelétricos.* Disponível em <http://www.ultraceram.com.br/ceramicas-piezoelétricas.asp>

WIKIPEDIA, 2013. *Piezoelétricidade.* Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Piezoelétricidade>

.