

# APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NO TRÁFEGO: UMA ANÁLISE PARA O CAMPUS UFMG - PAMPULHA

## Energy utilization in traffic: an analysis for the university campus of UFMG - Pampulha

Carolina Barbosa Resende <sup>1</sup>, Ricardo Terra <sup>2</sup>, Marcelo Greco <sup>3</sup>, Jisela Aparecida Santanna Greco <sup>4</sup>

Recebido em 16 de julho de 2015; recebido para revisão em 05 de setembro de 2015; aceito em 18 de fevereiro de 2016; disponível on-line em 11 de maio de 2016.



### PALAVRAS CHAVE:

Geração de energia;

Tráfego urbano;

Vias urbanas;

Aproveitamento energético;

Geradores eletro-cinéticos.

### KEYWORDS:

Energy generation;

Urban Traffic;

Urban roads;

Harvest of energy;

Electro-kinetic generators.

**RESUMO:** Devido às dificuldades pela falta de energia, alguns países se viram na posição de procurar novas formas de geração de energia, a fim de evitar a importação e seus preços altos. Com a intenção de captar a energia dissipada pelo tráfego e transformá-la em energia elétrica, os métodos estudados foram os métodos a partir dos geradores eletro-cinéticos. No entanto, cada alternativa é adequada para determinada situação. Características do tráfego, da via e da intensidade irão interferir no método utilizado. Este trabalho conduz um estudo de caso no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para avaliar a quantidade de energia gerada caso fossem utilizados geradores eletro-cinéticos, mais especificamente o mecanismo cremalheira pinhão dentro do campus. Como resultado mais relevante, a adaptação das lombadas atualmente existentes nas seis portarias do campus UFMG – Pampulha geraria o equivalente a 107.559kWh/mês, o que, no Brasil, seria suficiente para abastecer aproximadamente 660 residências por mês, ou se aproveitado dentro do próprio campus UFMG – Pampulha, seria suficiente para gerar uma economia de energia consumida de 5,4%. A principal contribuição do trabalho é mostrar quantitativamente as reais possibilidades de aproveitamento energético do tráfego, a partir de geradores eletro-cinéticos implementados em lombadas de vias urbanas.

**ABSTRACT:** Due to the lack of energy, some countries are searching for new technologies to produce electric energy in order to avoid importation taxes and abusive prices. The studied methods are based on electro-kinetic generators; they transform part of the energy dissipated by the traffic into electric energy. More important, each method has an ideal usage scenario, which depends, for instance, on the traffic, road, intensity, among others. The current paper presents a case study performed at UFMG – Pampulha Campus to evaluate how much energy can be generated if the campus direction decide to employ electro-kinetic generators, more specifically the rack pinion mechanism. As the most relevant result, if all speed breakers are modified at the campus entrances to an equipped rack pinion speed breaker, the campus traffic will generate the equivalent of 107,559kWh/month; sufficient energy to support 660 residences per month in Brazil. Moreover, if this energy was used where it is generated, at UFMG – Pampulha campus, then this could provide the equivalent of 5.4% of the energy that the campus demand per month. The main contribution of the present paper is to describe a quantitative study to generate energy from the traffic flow, with the use of electro-kinetic generators installed at speed breakers of urban roads.

### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail: carolinabr@ufmg.br ( C. B. Resende )

Engenheira Civil, mestranda do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica do ITA.

<sup>2</sup> e-mail: terra@dcc.ufla.br ( R. Terra )

Cientista da Computação, Doutor, Professor do Departamento de Ciência da Computação da UFLA.

<sup>1</sup> e-mail: mgreco@dees.ufmg.br ( M. Greco )

Engenheiro Civil, Doutor, Professor da Escola de Engenharia da UFMG.

<sup>2</sup> e-mail: jisela@etg.ufmg.br ( J. A. S. Greco )

Engenheira Civil, Doutora, Professora da Escola de Engenharia da UFMG.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país sem muitos problemas em relação à energia elétrica uma vez que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – Censo (2010), aproximadamente 98,7% das residências brasileiras possuem acesso à energia. Porém, ao abranger o aspecto energia de maneira mundial, sabe-se que muitos países possuem problemas relacionados a tal assunto. Segundo a Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA) (2011), cerca de 80,5% da população mundial possuía acesso à energia elétrica em 2011. Ainda, a média dos países latino americanos com acesso a energia em 2011 era de 93,2% e, se comparado a esses valores, o Brasil possui média acima de ambos. Por esse motivo, cientistas e pesquisadores buscam fontes alternativas para geração de energia que sejam limpas e renováveis, tais como energia eólica e solar.

Sá et al. (1995) argumentam que outro problema mundial é o elevado tráfego de veículos existente, principalmente nas grandes cidades devido ao grande número de automóveis e seu constante aumento. No Brasil, segundo Resende et al. (2009) é possível perceber que em cidades como São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro, esse problema vem se agravando.

Apesar de gerar poluição e estresse à população, o tráfego pode gerar algo positivo para a sociedade. Uma forma pouco comum de aproveitamento energético se dá através do tráfego, tema abordado neste trabalho. Esse aproveitamento não reduz o problema do tráfego, entretanto aproveita algo que ele gera e que atualmente é descartado (INNOWATTECH, 2014; HILL et al., 2014; VATANSEVER et al., 2012).

Como exemplo ao elevado tráfego existente e a necessidade de energia elétrica diária, Ravivarma et al. (2013) citam o método eletro-cinético através de redutores de velocidade. É importante ressaltar que existem outros métodos com o mesmo propósito (KUMAR, 2013; ARNAU e SOARES, 2008; TOPMECH, 2014; De La FUENTE, 2014).

Com esse tipo de informação, um estudo de caso dentro do campus UFMG – Pampulha é realizado, facilitando assim um estudo de quantificação de energia elétrica gerada através do tráfego nesse campus.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é conduzir um estudo de caso no campus UFMG – Pampulha para avaliar a quantidade de energia gerada caso fossem utilizados geradores eletro-cinéticos. Esse estudo de caso visa responder às seguintes questões de pesquisa (QPs).

- **QP #1:** *Onde* realizar a captação de energia na UFMG?
- **QP #2:** *Como* aproveitar energia elétrica a partir do tráfego no campus UFMG – Pampulha?
- **QP #3:** *Por que* da escolha do método eletro-cinético para o estudo?
- **QP #4:** *Quanta* energia elétrica pode ser captada?

## 3. MÉTODOS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA NO TRÁFEGO

Dentre as diversas formas de aproveitamento da energia gerada pelo movimento, aborda-se neste estudo o aproveitamento por energia cinética do movimento gerado pelo tráfego de veículos em meio urbano.

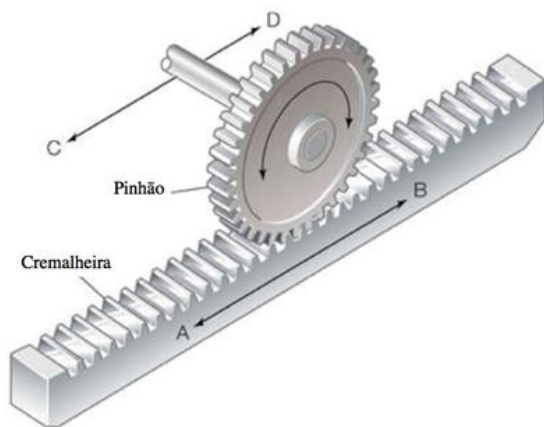
Entre os anos de 2005 e 2006, Hughes (2006) criou uma espécie de lombada para o aproveitamento de energia no tráfego. Essas lombadas, ou redutores de velocidade, geram energia devido às oscilações do veículo. O funcionamento delas se dá por pistões ou arranjos de molas na via.

Os geradores eletro-cinéticos convertem energia cinética em energia elétrica, ou seja, convertem um determinado movimento em eletricidade. Segundo Tank et al. (2014), um pistão ou um conjunto de molas é acionado a medida que os veículos passam sobre a lombada e assim uma turbina/rotor gira. Essa turbina pode girar devido

ao movimento do equipamento (gerador eletro-cinético).

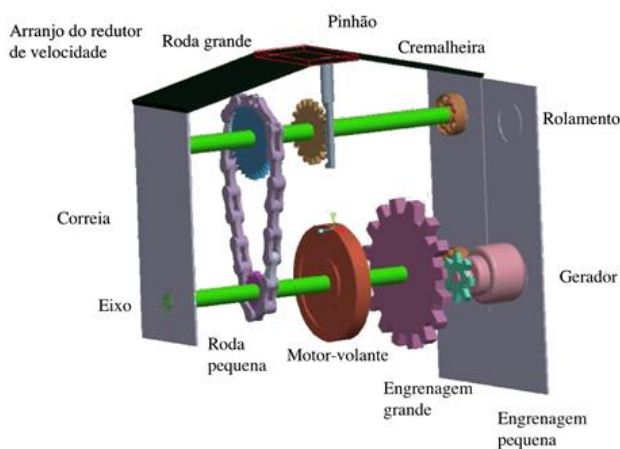
Os redutores de velocidade equipados com geradores eletro-cinéticos diferem das lombadas regulares. Por exemplo: (i) os redutores equipados se movimentam, enquanto os regulares não; (ii) o material constituinte se difere. Enquanto as lombadas regulares são constituídas de asfalto, as lombadas equipadas são constituídas por plástico resistente ou placas metálicas. Um dos métodos eletro-cinéticos é o método cremalheira pinhão.

O método cremalheira pinhão transforma o movimento de rotação em movimento linear, ou o contrário. A Figura 1 representa essa transformação de movimento. A Figura 2 apresenta um desenho esquemático do método cremalheira pinhão em redutores de velocidade.



**FIGURA 1:** Cremalheira pinhão.

**FONTE:** Encyclopaedia Britannica (2014) – adaptado pelos autores.



**FIGURA 2:** Esquema do mecanismo cremalheira pinhão nos redutores de velocidade.

**FONTE:** Ankita et al. (2013) – adaptado pelos autores.

À medida que o redutor de velocidade é pressionado pelo peso do veículo, um sistema é acionado. Assim, a cremalheira se movimenta na vertical e o pinhão (roda dentada) do mecanismo gira. Na sequência, a barra conectada ao pinhão gira juntamente com ele. O movimento segue para uma transmissão por correia, funcionando como uma polia. Na saída dessa polia existe um equipamento, motor-volante (*flywheel*), que armazena energia cinética e faz sua transferência para o dínamo (gerador). O dínamo é um aparelho que converte energia mecânica em elétrica. Em suma, o sistema funciona usando eixos comuns, engrenagens e correias para fazer a devida ligação ao gerador.

Segundo Aswathaman et al. (2011), é possível perceber que, no sistema da polia, a roda inferior é menor do que a superior. Assim, a parte inferior gira mais rápido, uma vez que para uma volta inteira da roda superior, a inferior dá várias voltas, o que permite um aumento de energia produzida. É importante salientar ainda que a cremalheira volta à posição inicial, ou seja, faz o sistema girar para o lado contrário, o que diminui a eficiência total do sistema.

#### 4. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste em seguir um estudo de caso e um levantamento de dados conforme é exposto por Yin (2001). Mais importante, uma pesquisa deve definir suas questões da pesquisa. Portanto, este estudo aborda as seguintes questões de pesquisa:

**QP #1:** Onde realizar a captação de energia na UFMG?

**QP #2:** Como aproveitar energia elétrica no tráfego do campus UFMG – Pampulha?

**QP #3:** Por que da escolha do método eletro-cinético para o estudo?

**QP #4:** Quanta energia elétrica pode ser captada?

Dentre as várias estratégias de pesquisas, a partir das informações dadas por Yin (2001), a estratégia que melhor responde as **QPs #1 e #4** é

um levantamento de dados. Já a estratégia que responde as **QPs #2 e #3** é um estudo de caso.

Em geral, um estudo de caso pode ser visto como a investigação do objeto estudado por uma pessoa ou por um grupo de pessoas. O estudo de caso deste trabalho contém os resultados de um levantamento de dados para análise dos métodos de aproveitamento energético no tráfego. No caso, realiza-se uma contagem de veículos em locais pré-determinados, pois assim se torna possível o entendimento do porquê de determinado método, e então se quantifica depois a energia produzida.

É importante mencionar que este trabalho utiliza um levantamento de dados necessário já previamente realizado na UFMG por Oliveira (2010) através de uma contagem classificada de veículos que contempla os dados essenciais ao estudo de caso a ser conduzido (pesquisa origem-destino). Assim, é efetuada uma análise desse levantamento para minerar os dados necessários ao estudo do aproveitamento energético no tráfego. Os dados disponíveis nesse levantamento permitem a escolha do campus UFMG – Pampulha como local de estudo para o aproveitamento energético pelo tráfego. Mais especificamente, foram escolhidas as *portarias do campus* devido à disponibilidade dos dados.

Com a finalidade de quantificar a energia que pode ser captada, foram feitas as seguintes considerações:

- Quanto ao tipo de veículo: A pesquisa origem-destino contabilizou diversos tipos de veículos como veículos de passeio, ônibus, caminhões e motos. Devido à maior proporção de veículos de passeio, foi feita a consideração de que todos os veículos que passarem pelo redutor de velocidade são de passeio. Isso significa que ônibus e caminhões serão contabilizados como veículos de passeio. Por outro lado, motos e bicicletas, por serem mais leves, serão desconsideradas no cálculo. Ao se considerar ônibus e caminhões como veículos de passeio, realiza-se uma análise conservadora, uma vez que o peso desses veículos é superior ao peso dos veículos de passeio;

- Quanto à massa média dos veículos: Fazendo uma análise do peso dos carros populares Fiat – Palio, Chevrolet – Celta, Nissan – March e

Volkswagen – Gol, disponíveis nas especificações dos veículos (Icarros, 2014), é considerado que em média um carro popular pesa 960kg. Como os carros possuem dois eixos, sabe-se que o peso do eixo do motor é maior que o peso do eixo sem motor, porém para efeito de simplificação é considerado uma distribuição de 50% do peso em cada eixo. Esse peso, segundo os conceitos da física, é na verdade a massa do veículo. Portanto, a massa média dos veículos é de 960kg, dividida em 480kg em cada eixo;

- Quanto à massa média dos passageiros: Um veículo é guiado por pessoas, portanto além da massa do carro é considerada a massa dos passageiros. Para isso, é necessário saber em média quantas pessoas existem em cada veículo que transita na UFMG. Abreu (2013) realizou uma análise da pesquisa origem-destino do campus UFMG – Pampulha e, com base em seu estudo e considerando-se que o número de pessoas que vão de carona é bem pequeno, realizou-se a consideração de que todos os veículos que entram e saem da UFMG possuem apenas o motorista. Novamente, os ônibus se tornam uma análise conservadora devido à diminuição da massa de passageiros. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014), de 2008-2009, em Minas Gerais, a massa média das mulheres entre 20 e 24 anos é de 57,6 kg, entre 25 e 29 anos é de 59,2 kg. A massa média dos homens entre 20 e 24 anos é de 69,4 kg, e entre 25 e 29 anos é de 72,4. Portanto, o estudo de caso adotará uma massa média de 60 kg para o motorista, a fim de não superestimar o peso do veículo;

- Quanto à massa de combustível a ser considerada para cada veículo: Além das massas já consideradas, o veículo necessita de combustível para se locomover, o qual possui determinado peso. Apesar da existência de veículos que aceitam gasolina e álcool, é considerado que todos os veículos que rodam no campus UFMG – Pampulha utilizam gasolina comum e não rodam com o tanque cheio. Analisando os tanques de combustível dos carros populares, um tanque tem em média 44 litros, assim será considerado que os veículos rodam com 20 litros de gasolina comum,

aproximadamente 45% de sua capacidade total. Segundo a Petrobrás (2014), produtora de gasolina no Brasil, a densidade da gasolina varia de 0,73 a 0,77kg/l. Assim, o estudo de caso considera uma densidade média de 0,75 kg/l. Considerando-se 20 litros, a massa de gasolina a ser considerada será igual a 15 Kg.

- Quanto à distância média entre eixos do veículo: As especificações técnicas dos carros populares analisados, Fiat – Palio, Chevrolet – Celta, Nissan – March e Volkswagen – Gol apresentam também a distância entre eixos. Assim, é considerada uma distância média entre eixos de 2,40m.

- Quanto à velocidade média dos veículos no redutor de velocidade: Devido às dimensões atuais das lombadas existentes e da observação do trânsito nas portarias, um veículo de passeio passa com velocidade média de 20km/h nas lombadas atuais das portarias do campus UFMG – Pampulha.

- Quanto à altura a ser considerada do redutor de velocidade: Para os redutores de velocidade avaliados, toma-se como referência a resolução 39 do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN (1998) para lombada, a qual estabelece que em locais onde a velocidade deve ser reduzida a 20km/h, se aplica o Tipo I (altura de 8cm e comprimento de 1,5m). Porém, como o redutor do estudo se move no sentido vertical, o estudo de caso considera uma altura de 10cm, para que com isto ele se desloque mais, e um comprimento de 1,25m.

## 5. ANÁLISE DO APROVEITAMENTO NO TRÁFEGO PARA O CAMPUS PAMPULHA DA UFMG

O meio científico vislumbra formas de aproveitar o movimento para outro propósito que não a locomoção. Por exemplo, pensou-se em gerar energia elétrica por meio do movimento. O movimento pode ser aproveitado de diversas formas, tais como pela energia cinética, atrito e tensões atuantes durante o movimento. Essa ideia é considerada um método de energia limpa devido às características existentes no mesmo. Dentre as

formas existentes de aproveitamento energético através do tráfego de veículos no meio urbano, é abordado neste estudo o aproveitamento por energia cinética.

### 5.1 QP #1: ONDE REALIZAR A CAPTAÇÃO DE ENERGIA NA UFMG?

Oliveira (2010) reporta uma contagem classificada de veículos, realizada por pesquisadores da UFMG, que apresenta a contagem de veículos que entram e saem diariamente na universidade em cada portaria. Por esse motivo o local escolhido foram as portarias do campus. Um mapa da UFMG, com destaque em suas portarias, pode ser observado na Figura 3.



**FIGURA 3:** Mapa da UFMG com portarias.

**FONTE:** Universidade Federal de Minas Gerais (2014) – adaptado pelos autores.

A Figura 3 ilustra as seis portarias do campus UFMG – Pampulha, descritas a seguir:

- Portaria #1: entrada pela Av. Presidente Carlos Luz, popularmente conhecida como “Av. Catalão”;
- Portaria #2: próxima ao prédio do Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH) e ao prédio da Química;
- Portaria #3: próxima ao Colégio Militar e à Escola de Engenharia da UFMG;
- Portaria #4: entrada pela Av. Presidente Antônio Carlos, considerada como portaria principal do campus;



- Portaria #5: entrada pela Av. Abrahão Caram;
- Portaria #6: próxima à Escola de Veterinária, cujo acesso se dá pelo estádio “Mineirão”.

A pesquisa utilizada foi realizada no dia 10 de novembro de 2010, uma quarta-feira de período letivo, o que retrata uma data de grande movimento. Por ser uma data no meio do período letivo, pode ser considerada como uma média do movimento de entrada e saída de veículos da universidade no período de aulas. É importante frisar que, durante as férias, o movimento diminui consideravelmente.

### 5.2 QP #2: COMO APROVEITAR ENERGIA ELÉTRICA NO TRÁFEGO DO CAMPUS UFMG – PAMPULHA?

O método escolhido para o aproveitamento energético no campus UFMG – Pampulha foi o método eletro-cinético, mais especificamente o método cremalheira pinhão. A justificativa para essa escolha é apresentada na discussão da QP #3.

### 5.3 QP #3: POR QUE DA ESCOLHA DO MÉTODO ELETRO-CINÉTICO PARA O ESTUDO?

A Tabela 1 apresenta as características de maior influência nos métodos que utilizam da energia cinética, que aproveitam o movimento para a geração de energia no tráfego.

**TABELA 1:** Influências na geração de energia – energia cinética.

Energia Cinética			
Velocidade	↓	Energia	↑
Peso	↑	Energia	↑
Fluxo de veículos	↑	Energia	↑
Altura do redutor/ lombada	↑	Energia	↑

FONTE: Autoria própria.

A Tabela 1 indica que uma menor velocidade (↓) gera um aumento na quantidade de energia gerada (↑). Por outro lado, um aumento das características peso, fluxo e altura do redutor também gera aumento da quantidade de energia gerada. Por exemplo, se o carro A tem massa de 300kg e o carro B tem massa de 400kg, o carro B

(devido ao maior peso) gerará mais energia elétrica do que o carro A.

A UFMG possui vias calçadas, ou seja, a maior parte das vias da UFMG – Pampulha, atualmente, são vias de baixa velocidade, o que aumenta a geração de energia através de métodos elétrico-cinéticos. Outro motivo que faz com que as velocidades das vias sejam baixas é o elevado número de pedestres circulando no campus devido à proximidade dos prédios e das características das pessoas que frequentam a universidade, por exemplo, o fato de possuírem aulas em diversos prédios, de saírem para ir aos restaurantes, entre outros fatores.

Outros métodos para geração de energia, como os métodos que se utilizam de material piezoelétrico, apresentam característica oposta em relação à velocidade dos veículos. Nos métodos que se utilizam de material piezoelétrico, quanto maior a velocidade dos veículos, maior a quantidade de energia gerada. Considerando a baixa velocidade dos veículos no Campus UFMG – Pampulha, a escolha de métodos eletro-cinéticos torna-se mais indicada.

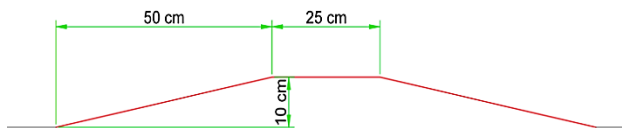
Uma das formas de aproveitar a energia pelos métodos eletro-cinéticos é pela instalação de redutores de velocidade em locais onde uma lombada regular já seria necessária. As portarias do campus UFMG – Pampulha, atualmente, possuem lombadas para reduzir a velocidade de quem entra e quem sai do campus. Esses locais, portanto, são locais altamente propícios ao aproveitamento energético pelo método eletro-cinético dos redutores de velocidade.

Além disso, o estudo origem-destino, que contabilizou o movimento de entrada e saída de veículos por portaria, também foi uma característica de grande importância na escolha do método e do local. Por último, outra característica do local escolhido é o elevado fluxo de veículos (de acordo com a Tabela 1, quanto maior o fluxo, maior a energia produzida). As portarias são pontos de concentração de automóveis dentro do campus. Devido à grande quantidade de prédios e estacionamentos, o fluxo se dispersa dentro do campus.

#### 5.4 QP #4: QUANTA ENERGIA ELÉTRICA PODE SER CAPTADA?

Para a geração de energia por veículo, são realizadas as seguintes considerações para o cálculo, abordadas na seguinte sequência:

- Tipo de veículo que trafega no local: veículos de passeio.
- Massa média dos veículos: 960kg
- Massa média dos passageiros do veículo: 60kg – apenas o motorista (Abreu, 2013).
- Massa de combustível a ser considerado para cada veículo: 15kg (Petrobras, 2014).
- Distância média entre eixos do veículo: 2,40m.
- Velocidade média dos veículos no redutor de velocidade: 20km/h.
- Altura e Comprimento considerados para o redutor de velocidade: 10cm e 1,25m, conforme Figura 4 (Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, 1998).



**FIGURA 4:** Dimensões consideradas do redutor.

**FONTE:** Autoria própria.

Assim, um veículo tem em média uma massa (M), conforme Equação 1.

$$M = 960 + 60 + 15 = 1.035\text{kg} \quad \text{Eq. (1)}$$

Considerando que a distribuição desta massa entre eixos é de 50% para cada, então cada eixo terá uma massa de 517,5kg.

O tempo de movimento do redutor é quase instantâneo. Basicamente, é o tempo gasto para que um eixo termine de passar sobre o redutor. Como velocidade (v) se dá por espaço (s) em determinado tempo (t), então tem-se a Equação 2:

$$v = \frac{s}{t} \rightarrow t = \frac{s}{v} \quad \text{Eq. (2)}$$

Como o espaço é o comprimento do redutor (1,25m), enquanto a velocidade considerada é de 20km/h (ou seja, 5,55m/s), tem-se a Equação 3.

$$t = \frac{1,25}{5,55} = 0,22 \text{ segundos} \quad \text{Eq. (3)}$$

A potência (Pot) é definida por meio da Equação 4.

$$\text{Pot} = \frac{w}{t} = \frac{F \cdot h}{t}, \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que W é o trabalho, definido por força (F) multiplicada pela distância (h), e t é o tempo.

O redutor de velocidade se desloca cada vez que um eixo passa sobre ele, logo a força (F) aplicada sobre o redutor nada mais é do que o peso de cada eixo. Enquanto o deslocamento (h) que a força gera é o deslocamento vertical do redutor, ou seja, a altura do redutor. Portanto,

$$\text{Pot} = \frac{F \cdot h}{t} = \frac{517,5 \cdot 0,1}{0,22} = 230\text{Kgf} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Eq. (5)}$$

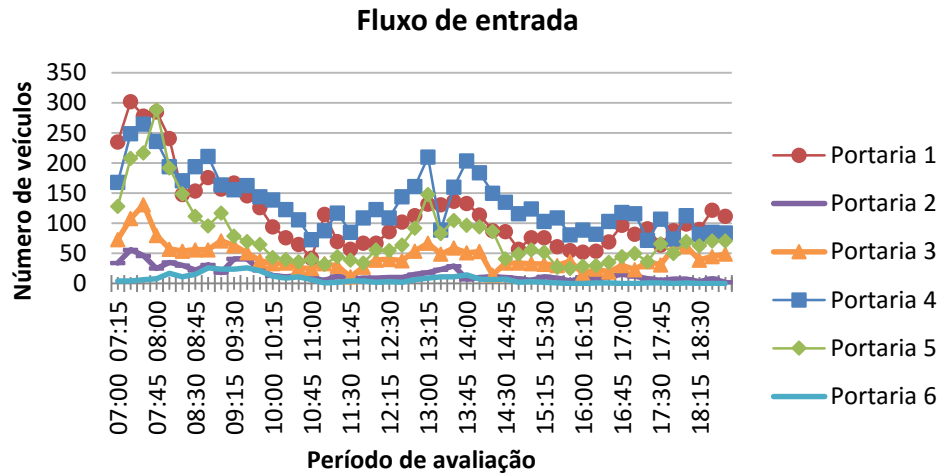
A fórmula apresentada na Equação 6 transforma potência em quilowatts (kW)

$$\text{Pot} = 230 \cdot \frac{1}{75} = 3,07\text{cv} = 3,07 \cdot 0,735 = 2,25 \frac{\text{kW}}{\text{eixo do veículo}} \quad \text{Eq. (6)}$$

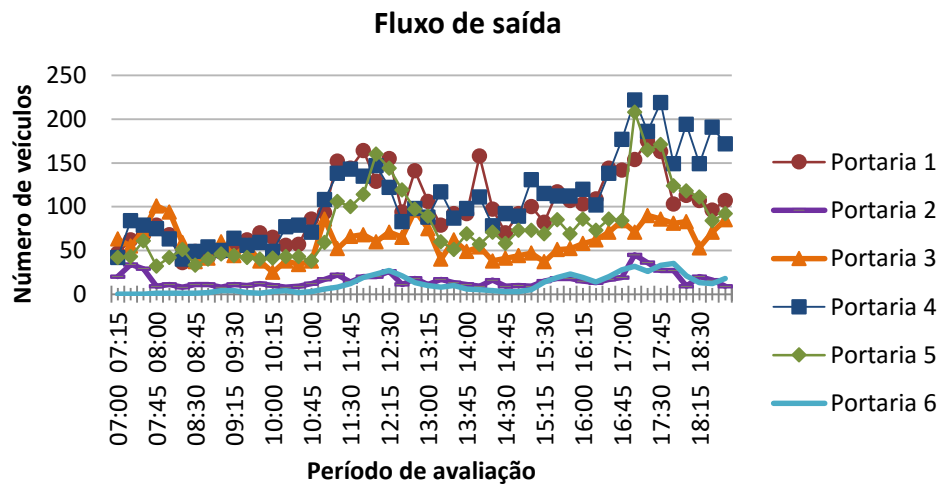
Porém, essa potência só é válida com fluxo contínuo e constante. No entanto, existe um rendimento sobre o movimento, o qual varia juntamente com o fluxo de veículos que passam sobre o redutor, o qual deve ser considerado.

As Figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, o fluxo de veículos entrando e saindo pelas portarias da UFMG. Considerando um fluxo *a* de veículos a cada 15 minutos, tem-se um fluxo *b* por minuto, tal que  $b = a/15$ , ou seja, um carro gasta *c* segundos, onde  $c = 60/b$ , para ir do *Ponto 1* ao *Ponto 2*, conforme ilustrado pela Figura 7. Os pontos estão distantes *d* metros, que pode ser considerada a distância entre os carros do fluxo (Equação 7). Seja a velocidade média do veículo que se aproxima da lombada igual a 20km/h (5,55m/s), e considerando-se que o veículo percorrerá *d* metros em *c* segundos, tem-se:

$$d = c \cdot 5,55 = \frac{60}{b} \cdot 5,5 = \frac{60 \cdot 15 \cdot 5,55}{a} = \frac{5.000}{a} \text{ metros} \quad \text{Eq. (7)}$$



**FIGURA 5:** Fluxo de veículos de entrada. **FONTE:** Dados obtidos de Oliveira (2010).



**FIGURA 6:** Fluxo de veículos de saída. **FONTE:** Dados obtidos de Oliveira (2010).



**FIGURA 7:** Distância entre carros. **FONTE:** Autoria própria.

Pela Física, sabe-se que o rendimento de uma máquina ( $\eta$ ) é dado por uma relação entre energia útil ( $E_u$ ) e energia fornecida ( $E_f$ ), conforme Equação 8:

$$\eta = \frac{E_u}{E_f} \cdot 100 (\%) \quad \text{Eq. (8)}$$

Segundo Ayres *et al.* (2012), energia útil é a energia capaz de realizar um trabalho útil. No caso, essa energia útil é a energia gerada quando um único veículo passa sobre o redutor de velocidade, pois é a energia que, de fato, realiza um trabalho. Já energia fornecida, é a energia fornecida



ao sistema, no caso, é uma energia constante gerada pelos veículos devido ao fluxo contínuo.

Como a velocidade, o peso e a distância entre eixos dos veículos estão sendo considerados constantes, então, se pode argumentar que a energia útil e a energia fornecida variam de acordo com as distâncias entre veículos. Portanto, foi considerado que energia útil é função de 2,4 m (distância entre eixos) e a energia fornecida é função da distância  $d$ . Com isto tem-se a Equação 9.

$$\eta = \frac{2,4}{d} \cdot 100 (\%), \text{ por eixo} \quad \text{Eq. (9)}$$

A potência gerada por eixo na lombada ( $Pot_{lomb,eixo}$ ) é dada por meio da Equação 10.

$$Pot_{lomb,eixo} = Pot_{carro} \cdot \eta \quad [W] \quad \text{Eq. (10)}$$

Enquanto que a potência total gerada por carro na lombada ( $Pot_{lomb,total}$ ), por ter dois eixos, é conforme Equação 11:

$$Pot_{lomb,total} = Pot_{lomb,eixo} \cdot 2 \quad [W] \quad \text{Eq. (11)}$$

Assim, é possível calcular a potência gerada por hora ( $Pot_{hora}$ ) na lombada (Equação 12).

$$Pot_{hora} = Fluxo_{hora} \cdot Pot_{lomb,total} \quad [Wh] \quad \text{Eq. (12)}$$

Como no estudo de caso o fluxo foi determinado a cada 15min, o fluxo por hora é dado pela Equação 13:

$$Fluxo_{hora} = Fluxo_{15min} \cdot 4 \quad \text{Eq. (13)}$$

Oliveira (2010) reporta apenas um estudo durante 12 h, portanto foi considerado que só há fluxo de veículos durante 12 h do dia dentro do campus UFMG - Pampulha. Se for considerado que haverá um armazenamento de tal energia, o armazenamento será de doze vezes a potência constante gerada por hora na lombada, (Equação 14):

$$Pot_{dia} = Pot_{hora} \cdot 12h \quad [Wh/dia] \quad \text{Eq. (14)}$$

Assim, a potência a ser distribuída diariamente e de forma contínua pelo gerador é dada por meio da Equação 15:

$$Pot_{distribuída} = \frac{Pot_{dia}}{24h} \quad [Wh/h] \quad \text{Eq. (15)}$$

Os resultados desses cálculos são reportados nas Tabelas 2 e 3. Com a análise da Tabela 2, percebe-se, por exemplo, que a Portaria #1 do campus UFMG – Pampulha tem um fluxo de

entrada de 115,31 veículos a cada 15 min (461,25 veículos/hora), a distância  $d$  entre os Pontos 1 e 2 da Figura 7 é de 43,32 m. O rendimento do fluxo é de 5,54%, o que faz com que cada eixo gere uma potência de 124,88 W ou de 249,77 W por carro. Com esse fluxo, a potência gerada por hora é de 115.205,29 Wh (115,21kWh), fazendo com que a potência diária produzida seja de 1.382.463,49 Wh/dia (1.382,46kWh/dia). Assim, a potência distribuída constante seria de 57.602,65 Wh/h (57,60kWh/h).

Somando-se os valores da penúltima coluna da Tabela 2, tem-se que diariamente as portarias do campus UFMG – Pampulha conseguiriam distribuir, juntas, um total de 4.162.653,31 Wh/dia (4.162,65k Wh/dia). Considerando que um mês letivo tem 20 dias de aula, o valor mensal gerado seria conforme a Equação 16:

$$\begin{aligned} \text{Potência mensal gerada na entrada} = \\ 4.162,65 \text{ kWh/dia} \cdot 20 \text{ dias} = \\ = 83.253,07 \text{ kWh/mês} \end{aligned} \quad \text{Eq. (16)}$$

Para a Tabela 3, tem-se que diariamente as portarias do campus UFMG – Pampulha conseguiriam distribuir juntas um total de 3.306.718,46 Wh/dia (3.306,72 kWh/dia). Considerando que um mês letivo tem 20 dias de aula, o valor mensal gerado seria conforme a Equação 17:

$$\begin{aligned} \text{Potência mensal gerada na saída} = \\ 3.306,72 \text{ kWh/dia} \cdot 20 \text{ dias} = \\ = 66.134,40 \text{ kWh/mês} \end{aligned} \quad \text{Eq. (17)}$$

Com isso, seriam gerados 149.387,47 kWh/mês de energia elétrica no campus UFMG – Pampulha. No entanto, ainda não foi considerado o rendimento do mecanismo que fará com que o redutor se movimente. Segundo Melconian (2003), o rendimento das transmissões varia de acordo com a Tabela 4.

O estudo de caso considera o uso de cremalheira e pinhão, o qual é formado por uma engrenagem de início do movimento, dois mancais de rolamento, uma transmissão por correia plana e um par de engrenagens. Se forem consideradas

engrenagens fundidas, por terem um menor rendimento, tem-se a Equação 18.

$$\eta = 0,92 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,92 \cdot 0,92$$

$$\eta = 0,72 \quad \text{Eq.(18)}$$

$$\eta = 72$$

É importante mencionar que, por restrições de dados, o cálculo da diminuição do rendimento devido ao movimento contrário do sistema não foi realizado.

Aplicando-se esse rendimento nos valores encontrados anteriormente, tem-se a Equação 19:

$$Potência\ mensal_{cremalheira\ pinhão} = 149.387,47 \cdot 0,72 = 107.558,98\ kWh/mês \quad \text{Eq.(19)}$$

Assim, mensalmente, utilizando o sistema cremalheira pinhão, o fluxo de veículos do campus UFMG – Pampulha seria capaz de gerar aproximadamente 107.559 kWh/mês.

TABELA 2: Potência gerada pelo fluxo de entrada.

Portaria	Fluxo Entrada (veículos/15min) - a	Fluxo Entrada (veículos/hora)	Velocidade (m/s)	Distância entre eixos (m)	Distância (m) - d	Rendimento por eixo (%)	Massa por eixo (kg)	Potência do carro (W)	Potência gerada na lombada por eixo (W)	Potência gerada na lombada total (W)	Potência gerada na lombada por hora (Wh)	Potência dia (Wh/dia)	Potência constante no gerador 24h - entrada (Wh/h)
1	115,31	461,25	5,55	2,40	43,32	5,54	517,5	2.254	124,88	249,77	115.205,29	1.382.463,49	57.602,65
2	15,92	63,67			313,82	0,76			17,24	34,48	2.194,95	26.339,36	1.097,47
3	44,83	179,33			111,41	2,15			48,55	97,11	17.414,93	208.979,15	8.707,46
4	135,04	540,17			36,99	6,49			146,25	292,50	157.999,32	1.895.991,88	78.999,66
5	78,71	314,83			63,46	3,78			85,24	170,48	53.673,64	644.083,73	26.836,82
6	6,79	27,17			735,46	0,33			7,36	14,71	399,64	4.795,72	199,82

FONTE: Autoria própria.

TABELA 3: Potência gerada pelo fluxo de saída.

Portaria	Fluxo Saída (veículos/15min) - a	Fluxo Saída (veículos/hora)	Velocidade (m/s)	Distância entre eixos (m)	Distância (m) - d	Rendimento por eixo (%)	Massa por eixo (kg)	Potência do carro (W)	Potência gerada na lombada por eixo (W)	Potência gerada na lombada total (W)	Potência gerada na lombada por hora (Wh)	Potência dia (Wh/dia)	Potência constante no gerador 24h - saída (Wh/h)
1	98,58	394,33	5,55	2,40	50,72	4,73	517,5	2.254	106,66	213,32	84.118,62	1.009.423,43	42.059,31
2	16,04	64,17			311,69	0,77			17,36	34,71	2.227,33	26.727,93	1.113,66
3	60,52	242,08			82,62	2,91			65,48	130,96	31.702,60	380.431,25	15.851,30
4	108,63	434,50			46,03	5,21			117,52	235,05	102.127,97	1.225.535,68	51.063,99
5	79,20	316,80			63,13	3,80			85,69	171,38	54.291,96	651.503,49	27.145,98
6	11,23	44,92			445,27	0,54			12,15	24,30	1.091,39	13.096,69	545,70

FONTE: Autoria própria.

TABELA 4: Rendimento das transmissões.

Tipo de Transmissão	Rendimento
<b>Transmissão por Correias</b>	
Correias Planas	$0,96 \leq \eta \leq 0,97$
Correias em V	$0,97 \leq \eta \leq 0,98$
<b>Transmissão por Correntes</b>	
Correntes Silenciosas	$0,97 \leq \eta \leq 0,99$
Correntes Renold	$0,95 \leq \eta \leq 0,97$
<b>Transmissão por Rodas</b>	
de Atrito	$0,95 \leq \eta \leq 0,98$
<b>Transmissão por Engrenagens</b>	
Fundidas	$0,92 \leq \eta \leq 0,93$
Usinadas	$0,96 \leq \eta \leq 0,98$
<b>Rosca sem fim (aço-bronze)</b>	
1 entrada	$0,45 \leq \eta \leq 0,60$
2 entradas	$0,70 \leq \eta \leq 0,80$
3 entradas	$0,85 \leq \eta \leq 0,97$
<b>Mancais</b>	
Rendimento (par)	$0,98 \leq \eta \leq 0,99$
Deslizamento (par) (buchas)	$0,96 \leq \eta \leq 0,98$

FONTE: Autoria própria.

Segundo Cerqueira (2012), o campus UFMG – Pampulha no ano de 2012 consumia cerca de 2 milhões de kWh por mês. Comparando-se esse valor com o valor gerado pelos redutores de velocidade instalados nas portarias, pode-se observar que os redutores juntos poderiam gerar aproximadamente 5,38% da energia consumida mensalmente pelo campus UFMG – Pampulha.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2014), o consumo médio de energia elétrica residencial no Brasil em 2013 foi de 163kWh/mês. Portanto, caso a energia armazenada no campus UFMG – Pampulha fosse distribuída para residências próximas, seria possível abastecer aproximadamente 660 residências por mês.

## 6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um estudo sobre aproveitamento energético do tráfego de veículos na UFMG pelo método eletro-cinético. Alguns

sistemas fazem a transformação de movimento em energia elétrica. Os geradores eletro-cinéticos fazem com que o veículo gere um movimento que irá gerar energia. Uma das formas de se utilizar esses sistemas é por meio de redutores de velocidade. Esse sistema requer manutenção e pode não ser viável dependendo das características locais.

Com base na contagem classificada de veículos, em Oliveira (2010), já realizada no campus UFMG – Pampulha, são respondidas as quatro questões de pesquisa do estudo, para análise e cálculo da energia gerada.

- **QP #1:** Onde realizar a captação de energia na UFMG?

Foram escolhidas as portarias do campus UFMG – Pampulha (Figura 3) devido à disponibilidade de dados.

- **QP #2:** Como aproveitar energia elétrica no tráfego do campus UFMG – Pampulha?

Foi escolhido o método dos geradores eletro-cinéticos e, mais especificamente o mecanismo cremalheira pinhão.

▪ **QP #3:** Por que da escolha do método eletro-cinético para o estudo?

O método eletro-cinético pode ser utilizado por meio de redutores de velocidade e o local escolhido – as portarias do campus – atualmente já possuem lombadas.

▪ **QP #4:** Quanta energia elétrica pode ser captada? Após serem feitas várias considerações, foi apresentado o cálculo da geração de energia elétrica (Tabelas 2 e 3 para geração do fluxo de entrada e de saída, respectivamente). Com a análise dessas tabelas e dos dados, foi calculado um total de energia elétrica gerada de aproximadamente 107.559 kWh/mês.

A quantidade de energia gerada é considerada significativa, pois representa cerca de 5,4% do consumo mensal total do campus UFMG – Pampulha, ou, em outra comparação, representa o consumo energético mensal de cerca de 660 residências.

A principal contribuição do trabalho é a proposta de uma alternativa de geração de energia elétrica limpa através do tráfego, o que poderia ser replicado em locais de tráfego lento, destacando-se a proposta de uma metodologia para o cálculo do aproveitamento energético considerando o tipo de veículo, a massa média dos veículos, dos passageiros e do combustível, a distância entre eixos, a velocidade média e a altura do redutor.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos apoios financeiros.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, B. R. A. *Avaliação da taxa de resposta de pesquisas digitais: Estudo de caso para a pesquisa origem/destino no campus UFMG*. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013.

ANKITA; BALA, M. **Power Generation from Speed Breaker**. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering (IJARSE)*, Volume 2, Número 2, 2013.

ARNAU, A.V.; SOARES, D. **Fundamentals of Piezoelectricity**. In: ARNAU, A.V. *Piezoelectric Transducers and Applications*. 2 ed. Berlin: Springer, 2008, p.1-38.

ASWATHAMAN, V.; PRIYADHARSHINI, M. **Every Speed Breaker is Now a Source of Power**. *International Conference on Biology, Environment and Chemistry (IPCBE)*, Volume 1, 2011. p.234-236.

AYRES, R. U.; AYRES, E. H. **A revolução da energia invisível**. In: \_\_\_\_\_. *Cruzando a fronteira da energia: Dos combustíveis fósseis para um futuro de energia limpa*. São Paulo: Bookman, 2012. p.59-78.

CERQUEIRA, P. **Energia reciclada em campus universitário**. 2012. *Jornal do Comércio*, 6 fev. 2012. Disponível em: <<http://www.cemetro.eng.ufmg.br/>>. Acesso em: 05 out. 2014.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (Brasil). **Resolução n. 39**, de 21 de maio de 1998. Estabelece os padrões e critérios para a instalação de ondulações transversais e sonorizadores nas vias públicas disciplinados pelo parágrafo único do art. 94 do Código de Trânsito Brasileiro. *Diário Oficial da União*, Brasília, p. 18-20, 22 de maio de 1998.

DE LA FUENTE, M. G. **El tráfico rodado ilumina los semáforos**. *Publico*, Madrid, 15 de maio de 2009. Disponível em: <<http://www.publico.es/>>. Acesso em: 15 jul. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 02 nov. 2014.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Rack And Pinion**. Disponível em: <<http://www.britannica.com/>>. Acesso em: 28 jul. 2014.

HILL, D; AGARWAL, A.; TONG, N. **Assessment of Piezoelectric Materials for Roadway Energy Harvesting**. **Oakland: California Energy Commission**. 2014. Final Project Report.

HUGHES, P. **Electro-kinetic Road Ramps**. 2006. Entrevista concedida a Naked Scientists. Disponível em: <<http://www.thenakedscientists.com/HTML/interviews/interview/377/>>. Acesso em: 25 jul. 2014.

ICARROS. **Fichas técnicas**. Disponível em: <<http://www.icarros.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2014.

INNOWATTECH. **Technical Information**. Disponível em: <<http://www.innowattech.com.il>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sinopse do censo demográfico 2010. Domicílios particulares permanentes, por existência de energia elétrica, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 out. 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY- IEA. **Energy for all**. In: \_\_\_\_\_. *World Energy Outlook*. Paris: IEA, 2011. p.469-506.

KUMAR, P. **Piezo-Smart Roads**. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, Volume 2, Número 6, 2013, p.65-70.

MELCONIAN, S. **Rendimento das transmissões**. In: \_\_\_\_\_. *Elementos de máquinas*. 4 ed. São Paulo: Érica, 2003. p. 27-36.

PETROBRAS. **Ficha de informação de segurança de produto químico – FISPQ. BR0051**. Versão 5. Rio de Janeiro, 28 de julho de 2014. Disponível em: <<http://www.br.com.br/>>. Acesso em: 14 set. 2014.

RAVIVARMA, K.; DIVYA, B.; PRAJITH, C.P.; VENGATESA, K. **Power Generation Using Hydraulic Mechanism at Speed bumper**. *International Journal of Scientific & Engineering Research (IJSER)*, Volume 4, Número 6, 2013, p.258-266.

RESENDE, P. T. V.; DE SOUSA, P. R. **Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras: Um estudo sobre os impactos do congestionamento**. *Simpósio de Administração de Produção, Logística e Operações Internacionais (SIMPOI)*. São Paulo, 2009.

SÁ, A. C. M. de; FARIA, E. de O.; CAMPOS, M. F.; BRAGA, M. G. de C. **Moderação do tráfego: uma possibilidade de melhoria da qualidade de vida nas cidades brasileiras**. *Congresso de Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Rio de Janeiro, 1995. p.783-794.

TANK, A.; SHAH, C. V.; SHAH, K. **Eco-Friendly Energy Generation through Speed Breaker**. *International Journal of Engineering Development and Research (IJEDR)*, Volume 2, Número 1, 2014, p. 1232-1235.

TOPMECH. **Internal Combustion Engines**. Disponível em: <<http://topmech.narod.ru>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Mapa do campus Pampulha**. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

VATANSEVER, D.; SIORES, E.; SHAH, T. **Alternative Resources for Renewable Energy: Piezoelectric and Photovoltaic Smart Structures**. *Global Warming – Impacts and Future Perspective*. InTech, 2012. p. 263-290.

YIN, R. K. In: \_\_\_\_\_. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 2 ed. Porto Alegre : Bookman, 2001. p.1-38.