

GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA POR VEÍCULOS EM ESTRADAS

Arielly Árian Pimenta Diniz¹; Gabriel Henrique Fonseca²; Alexandro Augusto de Oliveira³; Danielle Cristina Teles⁴; Renan Souza Moura⁵;

1 Arielly Árian Pimenta Diniz, Bolsista IFMG, Curso Engenharia Elétrica, IFMG Campus Formiga, Formiga - MG; ariellydiniz1608@gmail.com

2 Gabriel Henrique Fonseca, Bolsista IFMG, Curso Engenharia Elétrica, IFMG Campus Formiga, Formiga - MG

3 Alexandro Augusto de Oliveira, Curso Física, IFMG Campus Ouro Preto, Ouro Preto – MG

4 Danielle Cristina Teles, Coordenadora: Pesquisadora do IFMG, Curso Física, IFMG-Campus Ouro Preto, Ouro Preto – MG

5 Renan Souza Moura, Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus IFMG Campus Formiga, Formiga– MG; renan.moura@ifmg.edu.br

RESUMO

É fundamental que a sociedade busque fontes alternativas de energia elétrica que minimizem os impactos negativos no meio ambiente. Dentro deste contexto, este artigo demonstra uma forma de gerar eletricidade por meio de um gerador eólico que recebe ventos provenientes do deslocamento de veículos em vias públicas. A metodologia de trabalho foi baseada em estudos teóricos, desenvolvimento de um software educacional e testes práticos. Como resultados, o software educacional foi criado com sucesso e a instalação do gerador eólico em uma via pública possibilitou a geração de tensão elétrica.

INTRODUÇÃO:

Com a crescente demanda de energia limpa e a fim de diminuir a emissão de gases que podem provocar o efeito estufa, investir em fontes de energia renováveis, como, por exemplo, a energia eólica, é uma solução. Visando ao estudo de uma perspectiva de diversificação da matriz energética do país em um contexto mais próximo de centros urbanos, esse trabalho tem como intuito avaliar, sob o ponto de vista energético, a utilização de geradores eólicos de pequeno porte em rodovias e estradas. Sendo um assunto relevante e atual, pois é notável um aumento no número de trabalhos na literatura que estudam as influências dos deslocamentos de massas de ar provocados por veículos na produção de energia eólica.

Em 2008, Solazzo et al. modelaram o fluxo do vento induzido por veículos em rodovias urbanas considerando os efeitos da turbulência [01]. Em 2018, Bani-Hani et al. mediram a potência gerada, através de um estudo experimental em relação ao uso de turbinas eólicas de eixo vertical (VAWT) colocadas nas laterais de rodovias, em várias alturas, para a obtenção de energia elétrica a partir da energia eólica gerada pela movimentação dos veículos nas rodovias [02]. Em 2016, Hegde et al. consideraram turbinas eólicas de eixo horizontal (HAWT), desenvolvidas para gerar energia eólica induzida pelo movimento de carros e ônibus em rodovias. Para o cálculo da potência gerada por esses veículos, levou-se em consideração as equações *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS) com modelo de turbulência $k-\epsilon$, uma vez que envolve fluxos subsônicos e turbulências não muito altas. Além disso, todo o mecanismo foi simulado com auxílio do MATLAB [03].

Em 2012, Musa et al., através do software *CFD Ansys FLUENT*, converteu equações governantes em equações algébricas, que podem ser resolvidas numericamente para análises de fluxo, e realizaram uma análise numérica adotando as equações *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS), considerando ainda turbinas eólicas de eixo horizontal (HAWT), o efeito do espaçamento dos veículos e diferenças de velocidades [04]. E de modo mais amplo, em 2017, Tian et al. realizaram simulações computacionais tridimensionais de dinâmica de fluidos através do *CFD Ansys FLUENT*, baseadas nas equações *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS), para avaliar o desempenho de turbinas eólicas de eixo vertical (VAWT) e determinar o mecanismo de interação entre o veículo em movimento e a turbina. O modelo proposto por eles considera o caso de veículos trafegando em direções opostas, além de analisar os coeficientes de arraste, levante e torque (efeitos da turbulência) [05].

Este trabalho tem como objetivo estudar este tipo de geração eólica. Foi realizado uma modelagem matemática e criado um software educacional que realiza a estimativa de energia produzida pelos geradores eólicos que estão instalados em estradas. Sendo consideradas como variáveis de entrada o tipo e a velocidade do veículo, a distância do veículo em relação ao gerador eólico e a altura do gerador eólico em relação ao solo. Por fim, foram ainda realizados testes em rodovias, comprovando a possibilidade de geração de energia.

METODOLOGIA:

A metodologia utilizada foi baseada nos seguintes passos:

1. Estudo teórico do tema.
2. Desenvolvimento de um modelo matemático do tema.
3. Implementação computacional do modelo matemático para se criar o software educacional.
4. Testes práticos do gerador eólico em vias públicas.

Um dos objetivos do projeto de pesquisa é verificar a diferença de valores obtidos com o software educacional e os testes práticos. Em relação aos testes práticos, foram utilizadas duas versões do mesmo gerador, sendo uma delas com alterações realizadas a fim de aumentar a sensibilidade do mesmo.

Gerador eólico vertical original

A versão original do gerador, Figura 1, possui as seguintes especificações:

- Altura total: 420 mm.
- Comprimento da lâmina: 250 mm.
- Diâmetro da base: 90 mm.
- Diâmetro de rotação: 220 mm.
- Potência nominal: 20 W.
- Tensão: 1-20 V.
- Peso do produto: cerca de 690 g.
- Retificador de onda completa com diodos
- Carga resistiva de aproximadamente 304.7 Ω
- Sistema de medição de potência com Arduino.



Figura 1: Gerador Original. Fonte: Autores

Gerador eólico vertical modificado

A modificação feita consiste basicamente em instalar peças de acrílico com intuito de aumentar o diâmetro de rotação em 10 cm. Também foi retirado todo sistema de medição envolvendo retificador de onda, ou seja, a carga agora não está conectada aos terminais e toda a medição é feita exclusivamente por multímetros. As peças pretas de acrílico que foram instaladas estão visíveis na figura 2.



Figura 2: Gerador Modificado. Fonte: Autores

Realização dos testes com a instalação dos geradores em vias públicas

Os testes foram conduzidos em três etapas. Na primeira etapa o gerador original foi instalado em um canteiro central, que divide duas vias de mão única cujo sentido de uma é oposto a outra, onde a velocidade máxima permitida nesta via é de 40 km/h. Na segunda etapa, o gerador modificado foi colocado novamente na mesma via. Na terceira etapa o gerador modificado foi colocado em outra via cuja velocidade dos carros é consideravelmente maior, podendo ultrapassar 80 km/h.

Durante os testes, o principal objetivo era observar o movimento do gerador livre, ou seja, com ausência de carga em seus terminais de saída. Sendo assim, apenas o multímetro é conectado entre as fases para medir as tensões geradas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Desenvolvimento matemático

Pela literatura [01-06], tem-se que o cálculo da potência máxima P é dado por:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_{\infty}^3 C_p \quad (1)$$

onde ρ é a densidade do fluido deslocado pelo veículo, A é a área da turbina do gerador eólico, V_{∞} é a velocidade do vento que chega na turbina e C_p refere-se ao coeficiente de rendimento máximo, de 59,3% [06], dado pela Lei de Betz.

Além do mais, o veículo foi aproximado por uma esfera de velocidade U na direção y deslocando em um fluido ideal como mostra a Figura 3.

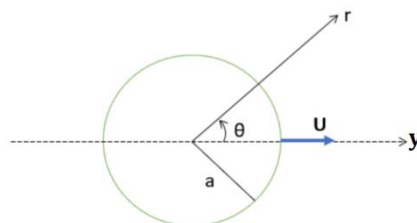


Figura 3: Esfera de velocidade U na direção y deslocando em um fluido ideal. Fonte: Autores.

Portanto, ao considerar simetria azimutal e esférica, através do escoamento potencial e outras aproximações para o cálculo analítico, tem-se que o cálculo da velocidade V_{∞} que entra na turbina é dado por:

$$V_{\infty} = \frac{a^3}{r^3} U \cos(\theta) \vec{r} + \frac{a^3}{r^3} U \sin(\theta) \vec{\theta} \quad (2)$$

onde r é a distância entre o veículo e o gerador eólico, U é a velocidade do veículo e a é o raio do veículo teórico idealizado.

Além do mais, estudou-se os comportamentos das variáveis r e θ em função do deslocamento do veículo no domínio do tempo. Estes foram desenvolvidos matematicamente, e para a sua execução foi assumido o conhecimento da distância horizontal x entre a estrada e o ponto de instalação do gerador eólico.

Foram feitas algumas aproximações referentes ao escoamento: escoamento incompressível, escoamento irrotacional e baixa viscosidade. Uma vez que, para o cálculo da velocidade (V_{∞}) foi proposto um modelo considerando ausência de dissipação e de fenômenos turbulentos para uma geometria simples. Portanto, obteve-se, a partir das equações (1) e (2), a seguinte equação para a potência gerada pelos veículos:

$$P(t) = \frac{1}{2} \rho A C_p \frac{a^9 * U^3}{(\sqrt{x^2 + U^2 t^2 + h^2})^9} \quad (3)$$

Deste modo, a partir do gráfico de $P(t)$, a energia elétrica gerada, uma variável de saída do software educacional, foi encontrada por meio de métodos de integração (Figura 4):

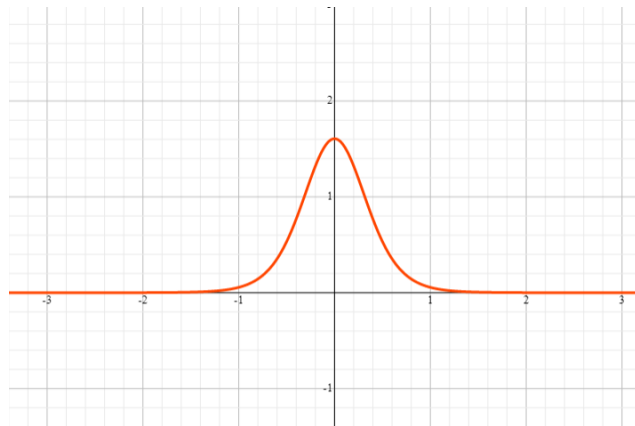


Figura 4: Gráfico da função $P(t)$. Fonte: *Symbolab*.

É aceitável que a potência P tenha seu máximo valor bruto quando o veículo está no momento da passagem pelo gerador eólico. Além do mais, ao analisar os intervalos $(-\infty, 0)$ e $(0, +\infty)$ percebe-se que a potência é irrisória quando considera que o veículo está muito distante do gerador. Isto é, o gráfico da Figura 4 sugere que a potência é apreciável num intervalo de tempo muito pequeno. O que faz sentido, pois as massas de ar deslocadas pelo veículo só passarão pela turbina do gerador num intervalo de tempo pequeno, uma vez que antes e após a passagem quase não existe o fluido se deslocando para a turbina.

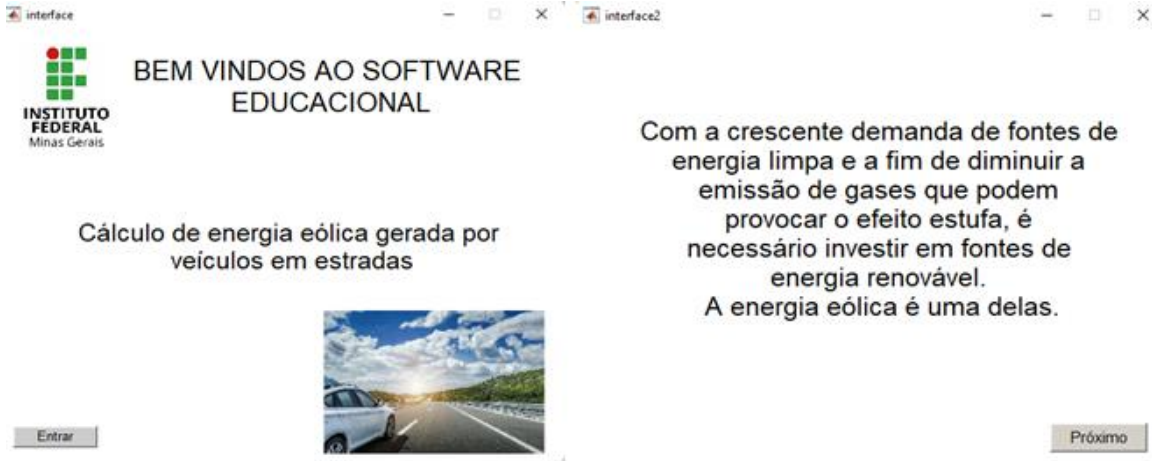
Software educacional

O software foi desenvolvido no Matlab, dividido em 5 interfaces. A figura 5 ilustra as interfaces desenvolvidas. A primeira interface é a de boas-vindas, que ao clicar no botão entrar, o usuário é direcionado para a segunda interface. A segunda interface mostra uma frase que motiva a busca de novas fontes de energia, além de possuir um botão que direciona para a terceira interface.

Na interface 3 o movimento do veículo em três instantes de tempo é ilustrado. Ainda nesta terceira interface existem dois botões: um para retornar para a interface anterior e outro que segue para a próxima interface.

A quarta interface é onde as variáveis são inseridas. O usuário entrará com o tipo de veículo, que pode ser 1 (carros) ou 2 (caminhões/ônibus), a velocidade do veículo em km/h, a distância horizontal do gerador em relação à estrada em metros e a altura do gerador eólico em relação ao solo em metros. Após o preenchimento de todas variáveis, o usuário deve pressionar o botão “entrar com os dados” que é quando o software recebe as variáveis.

A quarta interface possui outros dois botões, um para voltar à terceira interface e um para prosseguir para a quinta interface. Caso o usuário entre com alguma variável incorreta, o software possui uma caixa de texto para cada variável incorreta, figura 6. Caso as variáveis estejam corretas, deve-se clicar em uma caixa de texto para prosseguir para a interface 5.



Com a crescente demanda de fontes de energia limpa e a fim de diminuir a emissão de gases que podem provocar o efeito estufa, é necessário investir em fontes de energia renovável. A energia eólica é uma delas.

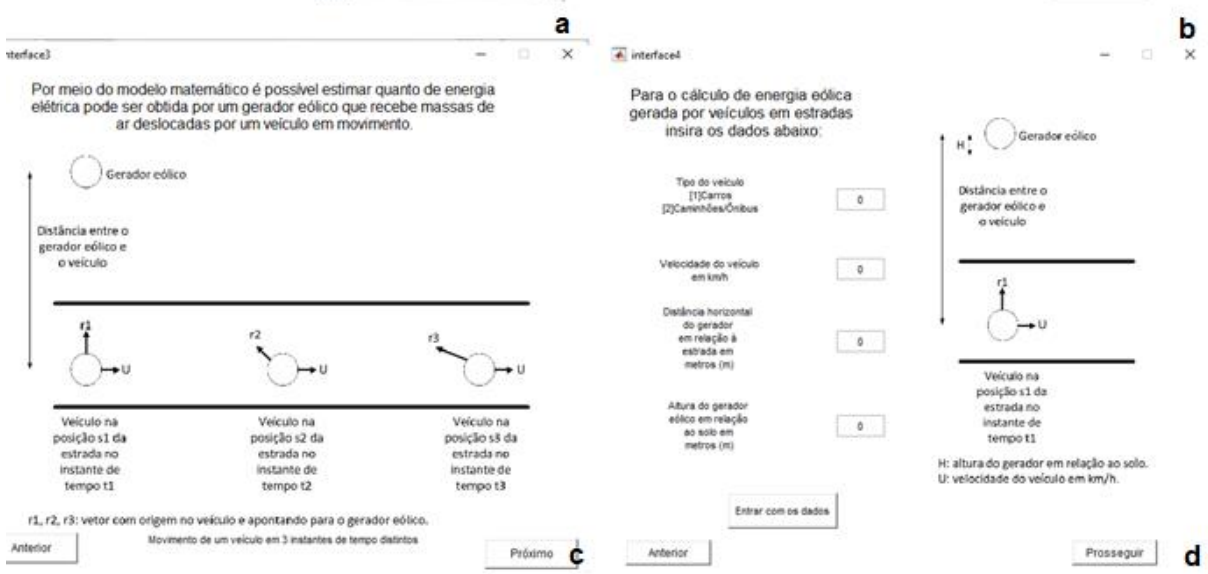


Figura 5: a) interface 1, b) interface 2, c) interface 3 e d) interface 4. Fonte: Autores

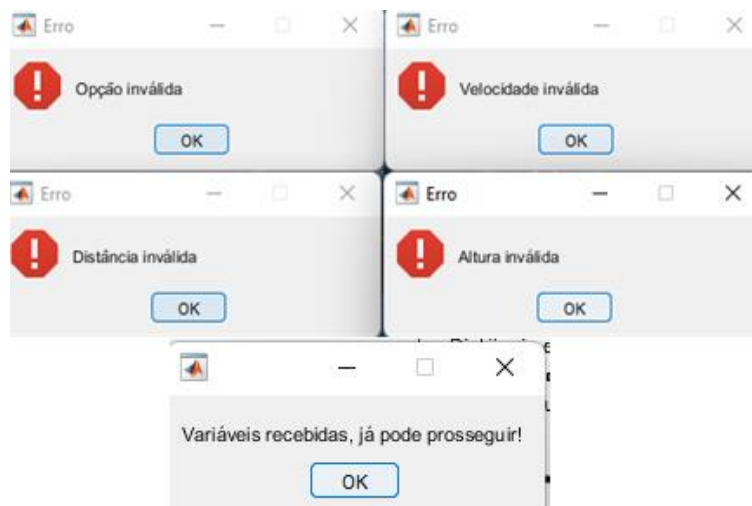


Figura 6: Caixas de texto. Fonte: Autores

Na quinta e última interface, o usuário consegue visualizar um gráfico e o valor da energia gerada. Possui também dois botões, um para voltar à quarta interface e outro para voltar ao início. Como exemplo, a figura 7 demonstra o valor de energia obtida quando um carro tem uma velocidade de 100 km/h a uma distância horizontal e vertical do gerador, respectivamente, de 3 e 2 metros.

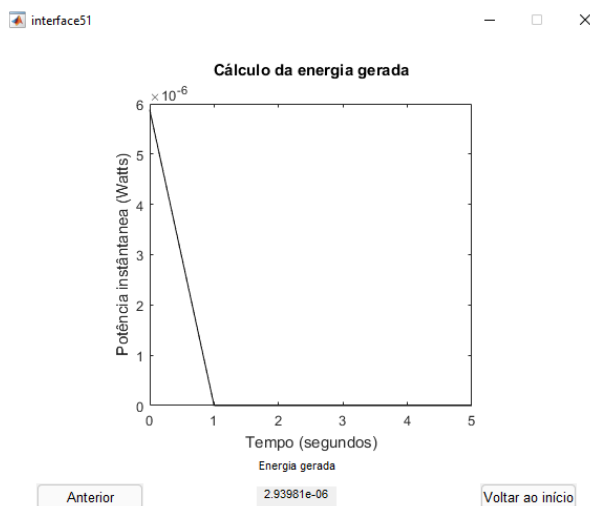


Figura 7: Interface 5. Fonte: Autores

Testes com o gerador eólico instalado em vias públicas

Resultados da primeira etapa de testes

Nesta etapa, o gerador apresentou instabilidade e dificuldade para iniciar a rotação, pois existiram ventos em várias direções simultaneamente. O gerador não girou, apenas tremeu.

Este teste foi importante para ressaltar a necessidade de aprimorar o gerador, pois o mesmo não possuía a mínima capacidade de gerar tensão.

Resultados da segunda etapa de testes

Nesta etapa, foi utilizado o gerador modificado. O aumento da distância entre as hélices e o eixo central diminuiu a inércia para iniciar a rotação em testes controlados executados dentro do laboratório. Infelizmente, quando o equipamento foi instalado na mesma via pública do primeiro teste, o gerador não apresentou trepidação e iniciava-se a sua rotação bem lentamente ao ponto de não gerar tensão.

A equipe percebeu que deve existir uma velocidade mínima do vento para iniciar a geração de energia. Tal fato incentivou a realização do terceiro teste, descrito a seguir.

Resultados da terceira etapa de testes

Na terceira etapa os resultados foram mais satisfatórios. O gerador modificado, instalado agora em uma via de maior velocidade, conseguiu sair do repouso e gerar tensões próximas a 200 milivolts após as passagens de veículos maiores (caminhão ou ônibus). A figura 8 ilustra o momento de registro de uma geração obtida neste terceiro teste.



Figura 8: Registro de tensão gerada durante o terceiro teste em vias públicas. Fonte: Autores

CONCLUSÕES:

Neste momento, o desenvolvimento do modelo matemático, o software educacional e testes práticos foram realizados com sucesso. Tais resultados criam grandes expectativas com relação às atividades que serão desenvolvidas nos próximos meses, como a confecção de novas hélices na impressora 3D, que podem ampliar a capacidade de geração, e a comparação dos resultados entre o software educacional e os testes práticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [01] SOLAZZO, E; CAI, X; VARDOULAKIS, S. Modelling Wind Flow and Vehicle-induced Turbulence in Urban Streets. **Atmospheric Environment**. v. 42, p. 4918-4931, 2008.
- [02] BANI-HANI, E.H. et al. Feasibility of Highway Energy Harvesting Using a Vertical Axis Wind Turbine. **Energy Engineering**. v. 115, p. 61-74, 2018.
- [03] HEGDE, S.S. et al. **Highway Mounted Horizontal Axial Flow Turbines for Wind Energy Harvesting from Cruising Vehicles**. In: **ASME2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2016**. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, 2016.
- [04] MUSA, M.N; OSMAN, K; HAMAT, A.M.A. et al. Renewable Energy from Induced Airflow Generated by Cruising Ground Vehicles in Tandem using RANS. **Energy Procedia**. p. 1877-1882, 2012.
- [05] TIAN, W; MAO, Z; AN, X. et al. Numerical Study of Energy Recovery from the Wakes of Moving Vehicles on Highways by Using a Vertical Axis Wind Turbine. **Energy**. v. 141, p. 715-728, 2017.
- [06] Sindhuja, B. **A proposal for implementation of wind energy harvesting system in trains**. In: **Proceedings of the 2014 International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication (CIEC)**. IEE, 2014.