



ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS

STUDY OF WIND ENERGY PROTOTYPE ON ROADS

ESTUDIO DE PROTOTIPO DE ENERGÍA EÓLICA EN CARRETERAS

Mario Miguel Solcia¹, Carmen Lúcia Avelar Lessa²

e5115946

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i11.5946>

PUBLICADO: 11/2024

RESUMO

A energia eólica é hoje um amplo campo de estudo, por se tratar de uma fonte de energia renovável, infinita e sustentável, podendo ser aplicada em diversos locais e de formas distintas, este estudo propõe a análise de um protótipo de turbinas eólicas instaladas em rodovias, utilizando hélices de eixo vertical para capturar o vento gerado pelo tráfego de veículos. A implementação dessa fonte de energia em rodovias pode transformar o fluxo de ar criado pelos automóveis em eletricidade. O protótipo desenvolvido foi testado em uma maquete, demonstrando a viabilidade e a funcionalidade de converter a energia cinética do vento gerado pelo tráfego nas pistas em energia elétrica. Os resultados indicam que a instalação de turbinas eólicas ao longo das rodovias pode gerar uma quantidade significativa de energia, principalmente em áreas com alto volume de tráfego, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a redução da dependência energias não renováveis e poluentes. Este artigo abre caminho para futuras pesquisas sobre a eficiência das turbinas de eixo vertical para rodovias em diferentes condições climáticas e o impacto econômico de sua implementação.

PALAVRAS-CHAVE: Energia eólica. Energia renovável. Rodovias. Sustentabilidade. Turbinas de eixo vertical.

ABSTRACT

Wind energy is currently a broad field of study, as it is a renewable, infinite and sustainable energy source, which can be applied in different locations and in different ways. This study proposes the analysis of a prototype of wind turbines installed on highways, using vertical axis propellers to capture the wind generated by vehicle traffic. The implementation of this energy source on highways can transform the air flow created by cars into electricity. The prototype developed was tested on a model, demonstrating the feasibility and functionality of converting the kinetic energy of the wind generated by traffic on the roads into electrical energy. The results indicate that the installation of wind turbines along highways can generate a significant amount of energy, especially in areas with high traffic volume, contributing to environmental sustainability and reducing dependence on non-renewable and polluting energy. This article paves the way for future research on the efficiency of vertical axis turbines for highways in different climatic conditions and the economic impact of their implementation.

KEYWORDS: Wind energy. Renewable energy. Highways. sustainability. Vertical axis turbines.

RESUMEN

La energía eólica es hoy un amplio campo de estudio, ya que es una fuente de energía renovable, infinita y sostenible, y puede aplicarse en diferentes lugares y de diferentes maneras. Este estudio propone el análisis de un prototipo de aerogeneradores instalados en carreteras. utilizando hélices de eje vertical para capturar el viento generado por el tráfico de vehículos. La implementación de esta fuente de energía en las carreteras puede transformar el flujo de aire creado por los automóviles en electricidad. El prototipo desarrollado fue probado sobre una maqueta, demostrando la viabilidad y funcionalidad de convertir la energía cinética del viento generada por el tráfico en las vías en energía eléctrica. Los resultados indican que la instalación de aerogeneradores a lo largo de las carreteras puede generar una cantidad importante de energía, especialmente en zonas con alto volumen de tráfico, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y reduciendo la dependencia de energías no renovables y contaminantes. Este artículo allana el camino para futuras investigaciones sobre la

¹ Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

² Orientadora. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS
Mario Miguel Solcia, Carmen Lúcia Avelar Lessa

eficiencia de las turbinas de eje vertical para carreteras en diferentes condiciones climáticas y el impacto económico de su implementación.

PALABRAS CLAVE: *Energía eólica. Energías renovables. Carreteras. Sostenibilidad. Turbinas de eje vertical.*

1. INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renováveis e sustentáveis é um dos grandes desafios do século XXI. Nesse contexto, a energia eólica se destaca como uma das alternativas mais promissoras, dada a sua capacidade de gerar eletricidade sem emitir gases que contribuem para o efeito estufa. No Brasil, a energia eólica tem experimentado um crescimento exponencial, representando uma parcela significativa da matriz energética do país (Almeida, 2021).

A energia eólica é uma forma de energia renovável que utiliza o vento para produzir energia mecânica. Essa energia mecânica é usada para movimentar turbinas eólicas, que por sua vez acionam geradores elétricos para produzir eletricidade. Historicamente, os moinhos de vento têm sido empregados em atividades como a moagem de grãos e o bombeamento de água. A energia eólica é considerada sustentável porque é inesgotável e tem um impacto ambiental relativamente baixo (Annan; Ofuso; Ansong, 2021). Grandes quantidades dessa energia são geradas em parques eólicos no Brasil, que são conjuntos de várias turbinas, a energia produzida por essas turbinas é combinada e conectada à rede elétrica para distribuição e uso comercial (Portal Solar, 2024).

De acordo com Martins (2022), no Brasil, a capacidade instalada de todos os parques eólicos chegou a quase 22 GW no final de 2021. O país permanece ocupando a 6ª posição no *Ranking* de Capacidade Total Instalada de Energia Eólica *Onshore*.

Em 2023, o Brasil foi o terceiro país que mais instalou eólicas, repetindo o feito de 2022, e ficando mais uma vez atrás apenas de China e Estados Unidos (Chestney, 2023).

Segundo Serafim (2015), a integração de sistemas de geração de energia eólica em rodovias apresenta uma oportunidade inovadora para o país de otimizar o uso do espaço e infraestrutura existentes. A energia eólica não apenas contribui para a diversificação e outras fontes de energia, mas também para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e para a promoção de um desenvolvimento sustentável das regiões envolvidas.

A utilização do vento gerado pelo movimento dos carros em rodovias para a produção de energia eólica é uma ideia inovadora e sustentável. À medida que os veículos se movem, eles deslocam o ar ao seu redor, criando correntes de vento significativas. Essas correntes podem ser capturadas por turbinas eólicas instaladas ao longo das rodovias, convertendo a energia cinética do vento em energia elétrica. Este conceito não só aproveita uma fonte de energia renovável, mas também transforma uma consequência do tráfego rodoviário em uma solução potencial para a geração de energia limpa (Han; Bandarakar; Sozer, 2019).

Para Campos (2024), a energia eólica, primeiramente é uma fonte renovável e inesgotável, ao contrário dos combustíveis fósseis e por isso a produção de energia eólica não emite gases de efeito estufa, ajudando a mitigar as mudanças climáticas e a poluição atmosférica. Além disso, a energia



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS
Mario Miguel Solcia, Carmen Lúcia Avelar Lessa

eólica tem se tornado mais econômica devido ao avanço tecnológico, e o setor tem gerado muitas oportunidades de emprego, impulsionando o crescimento econômico e atraindo investimentos para as comunidades locais.

Portanto, a instalação de energia eólica em rodovias pode trazer vantagens significativas, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Além disso, pode contribuir para a segurança energética do país e para a redução da dependência de combustíveis fósseis. A energia eólica é, sem dúvida, uma opção viável e sustentável para o futuro da energia.

Este trabalho propõe analisar um protótipo de implementação de turbinas eólicas em rodovias, utilizando hélices de eixo vertical para capturar o vento gerado pelo tráfego de veículos. É realizada a conversão da energia mecânica em elétrica por meio da energia eólica, que em estradas pode ser utilizada para abastecer pequenos centros urbanos, iluminação pública e outras infraestruturas localizadas ao longo das rodovias, como pedágios por exemplo. A proposta não só visa promover a sustentabilidade ambiental, mas também explorar uma fonte de energia renovável e eficiente, que aproveita o fluxo constante de veículos, independentemente das condições climáticas naturais. Para tal estudo será utilizada uma maquete a fim de demonstrar em escala reduzida o funcionamento do projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Potencial econômico da energia eólica

A energia eólica tem demonstrado um crescimento notável em escala global. Em 2022, a capacidade instalada de energia eólica aumentou 78 GW globalmente em relação a 2021, para 907 GW. A China, os Estados Unidos e a Alemanha lideram em termos de capacidades totais instaladas (Martins, 2022).

Um relatório do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC – do inglês, *Global Wind Energy Council*) prevê que um recorde de 680 gigawatts (GW) de capacidade de energia eólica será instalado no mundo até 2027 (Chestney, 2023).

Como descrito por Martins (2022), no Brasil a energia eólica tem desempenhado um papel crucial na matriz energética do país. Em 2021, o Brasil ocupou o 6º lugar no *ranking* de capacidade total instalada de energia eólica *onshore*, ou seja, energia eólica em terra.

O Brasil tem mostrado um desenvolvimento histórico notável do uso de energia eólica como energia renovável. A projeção é que em 2024 o Brasil tenha pelo menos 30 GW de energia instalada. A cada R\$1,00 investido em energia eólica, o PIB nacional recebe um impulso de R\$2,90 (Tempo de Energia, 2023).

Para Larco (2024), a expansão da capacidade de geração de energia eólica no Brasil passa pela continuidade do desenvolvimento da cadeia de fabricantes deste setor. Essa expansão com base local traz maior dinamismo para a economia brasileira com impactos positivos no PIB do país.



Categorias de energia eólica

A energia eólica é uma fonte de energia renovável que utiliza a força do vento para gerar eletricidade. Existem várias categorias de energia eólica, que podem ser classificadas com base em vários fatores, como a localização da turbina eólica (em terra ou no mar), o tamanho da turbina eólica, entre outros.

Energia eólica *onshore* e *offshore*

De acordo com Santos (2022), a energia eólica pode ser gerada em terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*). As turbinas eólicas *offshore* geralmente produzem mais energia do que as *onshore* devido à presença de ventos mais fortes e consistentes no mar.

Turbinas eólicas de pequena e grande escala

As turbinas eólicas de pequena escala são geralmente usadas para fornecer energia a uma única casa ou pequena comunidade, enquanto as turbinas de grande escala são usadas em parques eólicos para fornecer energia a uma rede elétrica (Portal Solar, 2024).

Energia eólica distribuída e centralizada

A energia eólica distribuída refere-se à energia gerada perto do ponto de uso, enquanto a energia eólica centralizada é gerada em grandes parques eólicos e depois transmitida para os usuários através da rede elétrica (Almeida, 2021).

Energia eólica vertical e horizontal

As turbinas eólicas podem ser classificadas como verticais ou horizontais, dependendo da orientação do eixo da turbina. As turbinas eólicas horizontais são as mais comuns e eficientes, enquanto as turbinas eólicas verticais são mais versáteis e podem operar em ventos de baixa velocidade (Souza; Cunha; Santos, 2013).

Carvalho (2020) afirma que, os modelos de turbinas eólicas de eixo vertical mais comuns e de custo-benefício atraente para uso doméstico são: *Savonius*, *Darrieus* e *Panemone*.

A turbina *Savonius* foi criada e patenteada por Sigurd J. Savonius em 1929 na Finlândia e nos Estados Unidos. Este rotor opera principalmente sob a força de arrasto, embora também haja uma contribuição da força de sustentação, que permite a rotação da turbina, conforme pode ser observado na Figura 1. Com esta combinação de forças, uma turbina *Savonius* pode gerar um alto torque inicial mesmo com ventos de baixa velocidade, resultando em baixo custo de instalação e impacto ambiental reduzido. Estas turbinas podem operar com ventos de qualquer direção e existem vários modelos projetados para maximizar sua eficiência. No entanto, a velocidade de rotação limitada (devido à força de arrasto) e a eficiência energética relativamente baixa são consideradas desvantagens deste tipo de rotor (Carvalho, 2020).

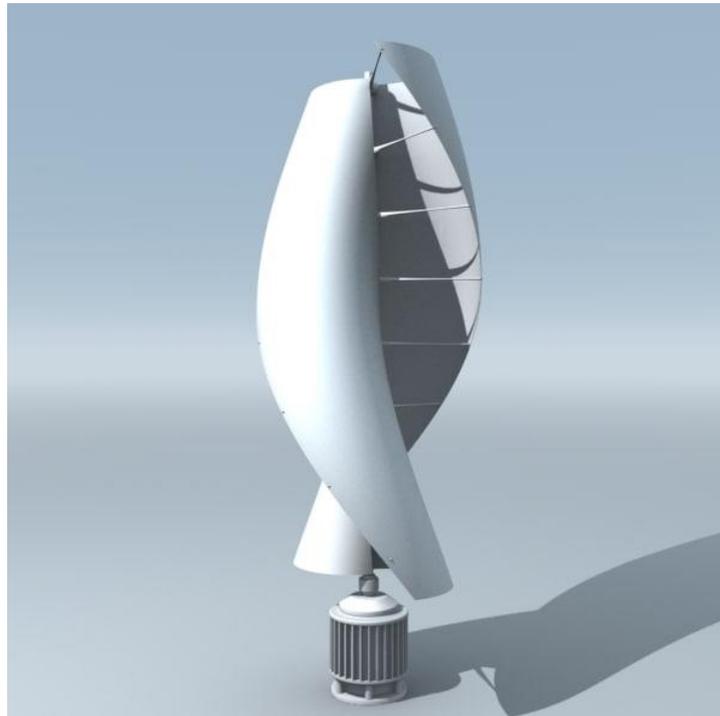


Figura 1 - Turbina do tipo *Savonius*
Fonte: Carvalho, 2020

De acordo com Carvalho (2020), a turbina *Darrieus* foi desenvolvida na década de 1920, pelo francês G.J.M *Darrieus*. A força motriz principal destas turbinas são as forças de sustentação. As turbinas *Darrieus* têm uma eficiência superior às turbinas *Savonius* e consistem basicamente em hélices de lâminas curvas, retas ou helicoidais (duas ou três) de perfil aerodinâmico, presas nas extremidades e no eixo vertical, criando sustentação para se mover e gerar energia elétrica, como pode ser visto na Figura 2. Estes rotores podem atingir alta velocidade, com um torque inicial praticamente nulo. A maior complexidade de projeto e fabricação é devido ao seu *design* em forma de hélice que é a única desvantagem deste modelo de turbina eólica em relação às turbinas de pás tradicionais (Carvalho, 2020).



Figura 2 - Turbina do tipo *Darrieus*
Fonte: Carvalho, 2020

Segundo Carvalho (2020), a turbina eólica *Panemone* é provavelmente a primeira turbina eólica. Sua patente foi obtida em meados da década de 1980. Este tipo de turbina é baseado nas máquinas eólicas mais antigas construídas pelos persas. As forças de arrasto são as principais forças que atuam neste tipo de turbina, embora as forças de sustentação também estejam presentes em menor grau. O rotor inclui várias pás dispostas verticalmente e presas nas extremidades. As turbinas *Panemone* têm como característica principal o eixo rotativo posicionado verticalmente e as pás se movem paralelamente ao vento (conhecido como moinho de vento), pode-se observar as suas características na Figura 3.



Figura 3 - Turbina do tipo *Panemone*
Fonte: Carvalho, 2020



Carvalho (2020) cita também que as impressionantes turbinas eólicas de eixo horizontal estão instaladas em vários locais em todo o continente e são extremamente eficientes. No Brasil, os parques eólicos cobrem áreas estratégicas para a produção de energia elétrica. Estas turbinas têm o eixo de rotação horizontal e paralelo ao solo.

As turbinas eólicas de eixo horizontal são classificadas de acordo com a posição do rotor e das pás em relação ao fluxo do vento, podendo ser *upwind* e *downwind*, conforme exibido na Figura 4. As turbinas *upwind* têm o rotor eólico posicionado ligeiramente à frente da torre, permitindo que o vento passe diretamente pelas pás. Embora esta configuração requiera um rigoroso sistema de controle de orientação em relação à direção dos ventos, é a mais utilizada nas TEEH (Turbina Eólica de Eixo Horizontal) de grande porte. Por outro lado, as turbinas *downwind* têm uma inclinação no posicionamento do sistema, permitindo que os ventos passem primeiro por trás da turbina eólica e depois pelas suas pás (Carvalho, 2020).

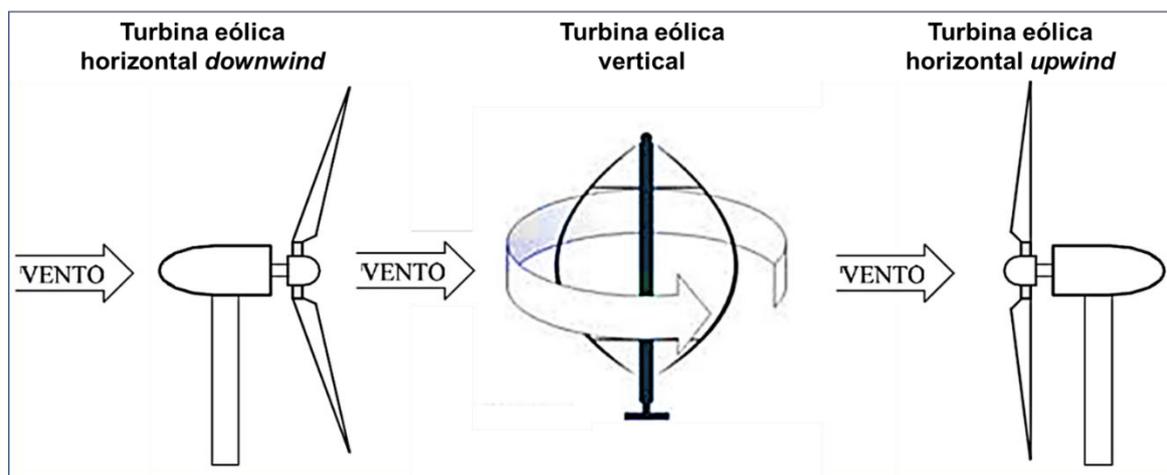


Figura 4 - Turbinas eólicas de eixo horizontal tipo *downwind* e *upwind* e a turbina de eixo vertical
 Fonte: Carvalho, 2020

Turbina eólica – estrutura

Uma turbina eólica é um dispositivo que transforma a energia cinética do vento em energia elétrica (Eligenio, 2024). O funcionamento de uma turbina eólica envolve os seguintes passos:

Captação da energia do vento: As pás da turbina são projetadas para capturar a energia cinética do vento. À medida que o vento empurra as pás, elas giram (Picolo; Ruhler; Rampinelli, 2014).

Conversão de energia mecânica em elétrica: O movimento das pás gira um eixo que está ligado a um gerador. O gerador, então, converte essa energia mecânica em energia elétrica (Picolo; Ruhler; Rampinelli, 2014).

Regulação da velocidade: As turbinas eólicas modernas possuem sistemas de controle que ajustam a posição das pás e a direção da turbina para maximizar a captação de energia e proteger a turbina em condições de vento muito forte (Amaral, 2011).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS
Mario Miguel Solcia, Carmen Lúcia Avelar Lessa

Distribuição de energia: A energia elétrica gerada é então transmitida através de uma rede elétrica e distribuída para os consumidores (Campos, 2024).

A turbina eólica é composta de diversos componentes, entre eles estão as pás, nacela, rotor, multiplicador de velocidade, sensores de vento, gerador elétrico, torre de sustentação e controle de giro, conforme pode ser visualizado na Figura 5.

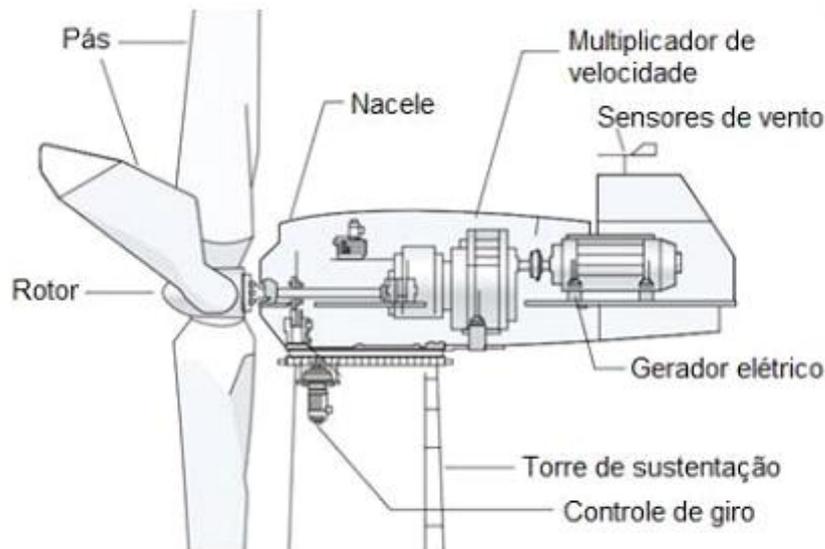


Figura 5 - Componentes de uma turbina eólica
Fonte: Telub, 2022

3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Estudo do protótipo de energia eólica em rodovias

Para esse estudo de protótipo de energia eólica em rodovias foram utilizadas como base as turbinas de eixo vertical, visto que são as mais adequadas para captar o vento gerado pelos automóveis e também mais indicadas para tal ambiente, sem gerar grandes impactos visuais e sonoros.

As turbinas eólicas podem ser instaladas nas laterais das rodovias ou no centro delas, isso dependerá do tipo da estrada, do espaço disponível nas mesmas e da infraestrutura existente, visando uma melhor captação do vento, economia financeira, segurança civil e ambiental.

A vantagem de as turbinas serem montadas no centro da pista é que isso permite captar o fluxo de vento dos dois sentidos do tráfego em uma mesma estrutura, tendo um melhor aproveitamento energético e uma capacidade maior de geração, conforme é exibido nas Figuras 6 e 7.

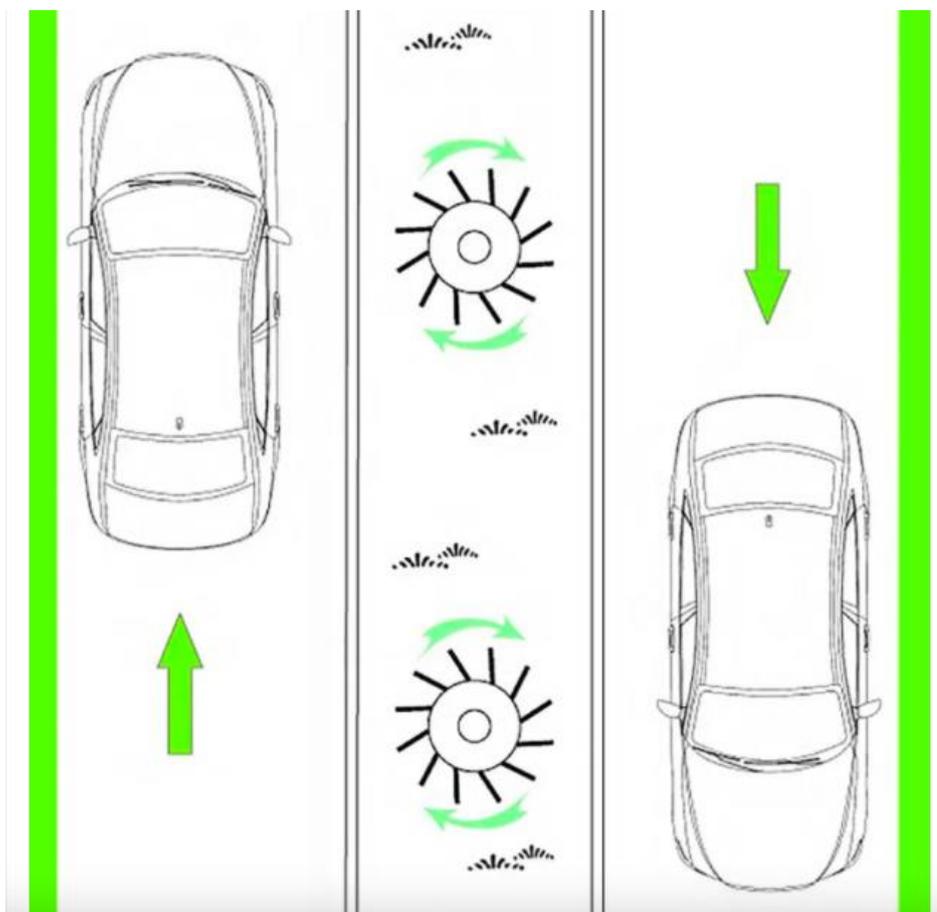


Figura 6: Funcionamento de energia eólica no centro de rodovia de mão dupla
Fonte: Steffen, 2020



Figura 7 - Turbina eólica instalada no centro de uma rodovia
Fonte: Medeiros, 2024

Já uma instalação das turbinas nos canteiros das pistas pode ser mais viável por conta do espaço e infraestruturas existente como postes de iluminação urbana, conforme pode-se observar na Figura 8.



Figura 8 - Turbina eólica instalada no canteiro de uma rodovia
 Fonte: Olsen, 2021

As turbinas eólicas de eixo vertical para rodovias são projetadas para captar a energia do vento natural e principalmente a criada pelos automóveis que passam pelas mesmas, tornando essas estradas fontes de energia renovável. Esta turbina atua como um cata-vento, que permanece na vertical, capturando o fluxo de ar gerado pelo tráfego rápido em estradas e avenidas. Ele tem pás verticais que, quando os carros passam por elas, o vento gerado pelos veículos faz essas pás girarem, e por meio de turbinas eólicas, transforma essa energia mecânica em energia elétrica.

As rodovias mais adequadas para receber esse tipo de investimento são as que possuem um grande fluxo de automóveis, para que haja uma boa geração de energia elétrica que poderá ser utilizada para diversos fins, como iluminação urbana, energia para pedágios e outras construções que ficam ao lado das pistas e até mesmo abastecimento para pequenos centros urbanos.

4. MAQUETE DO PROTÓTIPO

Para a construção da maquete de estudo de viabilidade de um protótipo de energia eólica em rodovias, o primeiro passo foi a elaboração de um esboço e o levantamento de materiais. A Figura 9 apresenta o rascunho do projeto, desenvolvido no *software Autodesk Inventor*, que permite uma visualização detalhada e uma projeção da execução do trabalho.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS
Mario Miguel Solcia, Carmen Lúcia Avelar Lessa

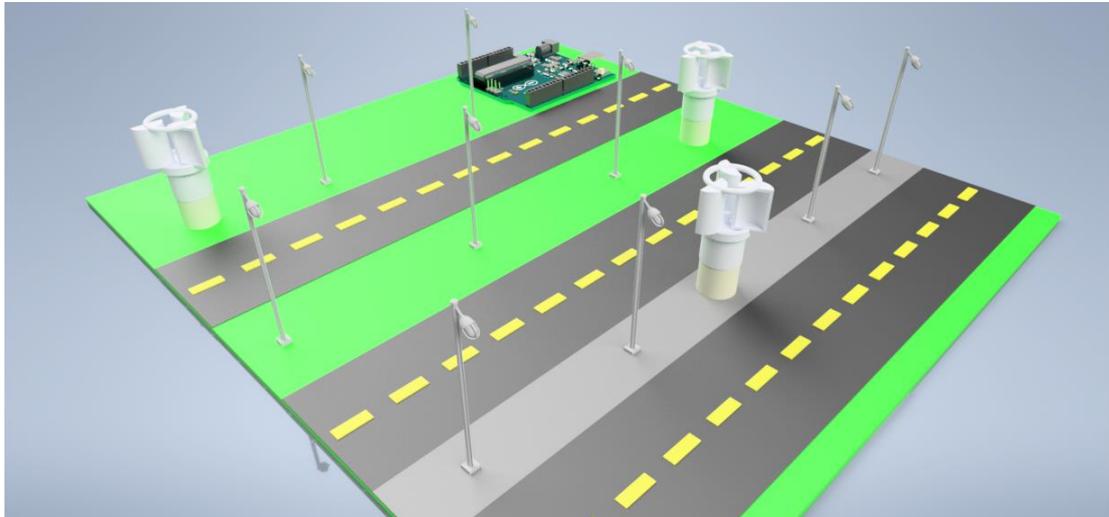


Figura 9 - Esboço inicial do projeto
Fonte: O autor, 2024

Os materiais necessários levantados para o protótipo incluem: Arduino Uno, motor DC, placas de MDF para a base, haste de energia eólica fabricada em PLA por impressão 3D, postes para indicar a geração de energia eólica, resistores, cabos elétricos e outros componentes para a montagem do trabalho, como tintas etc.

O projeto consiste em um protótipo de rodovia com turbinas eólicas posicionadas no centro e nos canteiros. Ao simular o vento gerado pelos veículos em movimento, as hélices das turbinas giram, gerando energia elétrica que é enviada ao Arduino, que atua como uma subestação de energia elétrica. Após receber o sinal de tensão das turbinas, o Arduino distribui a eletricidade no circuito conforme programação, alimentando os postes ao redor da rodovia e mantendo a iluminação pública com o tráfego dos veículos.

Para a programação do projeto, utilizou-se a plataforma do *TinkerCAD*, que permitiu programar, simular, montar o diagrama parcial do trabalho e verificar digitalmente seu funcionamento, agilizando o processo e evitando erros de montagem e ligação elétrica. As Figuras 10 e 11 mostram a programação do Arduino e a simulação no *TinkerCAD*, respectivamente. Para simular o pulso enviado pela turbina eólica, foi utilizada uma fonte e um componente de acionamento mecânico pulsante. Os postes foram representados por LEDs brancos, permitindo verificar a funcionalidade do programa e alcançar o resultado desejado. O programa executa os comandos da seguinte forma: após o Arduino receber o sinal em nível lógico alto, indicando a geração de energia, os LEDs acendem; quando o sinal é interrompido, os LEDs apagam imediatamente. Isso demonstra que o sinal enviado pela turbina eólica ao Arduino, ao girar com o vento gerado pelos veículos, acionará os postes da maquete da rodovia.



```

Texto [v] [↓] [📁] [A] [v] 1 (Arduino Uno R3)
1 // dando um "nome" para as portas
2 int poste_1 = 2;
3 int poste_2 = 6;
4 int motor_1 = 5;
5 int motor_2 = 4;
6 int motor_3 = 3;
7
8
9 void setup() {
10 // indicando para o arduino quais portas vamos usar
11
12 pinMode(poste_1, OUTPUT);
13 pinMode(poste_2, OUTPUT);
14 pinMode(motor_1, INPUT);
15 pinMode(motor_2, INPUT);
16 pinMode(motor_3, INPUT);
17
18
19 }
20
21 void loop() {
22
23 if (digitalRead(motor_1) == HIGH || digitalRead(motor_2) == HIGH || digitalRead(motor_3) == HIGH)
24 // liga os poste
25
26     digitalWrite(poste_1, HIGH);
27     digitalWrite(poste_2, HIGH);
28
29
30
31 delay(2000);
32
33 }
34
35 if (digitalRead(motor_1) == LOW || digitalRead(motor_2) == LOW || digitalRead(motor_3) == LOW){
36 // Desliga os poste
37
38     digitalWrite(poste_1, LOW);
39     digitalWrite(poste_2, LOW);
40
41
42
43 delay(2000);
44
45 }
46
47 }

```

Figura 10 - Programação do Arduino
Fonte: O autor, 2024

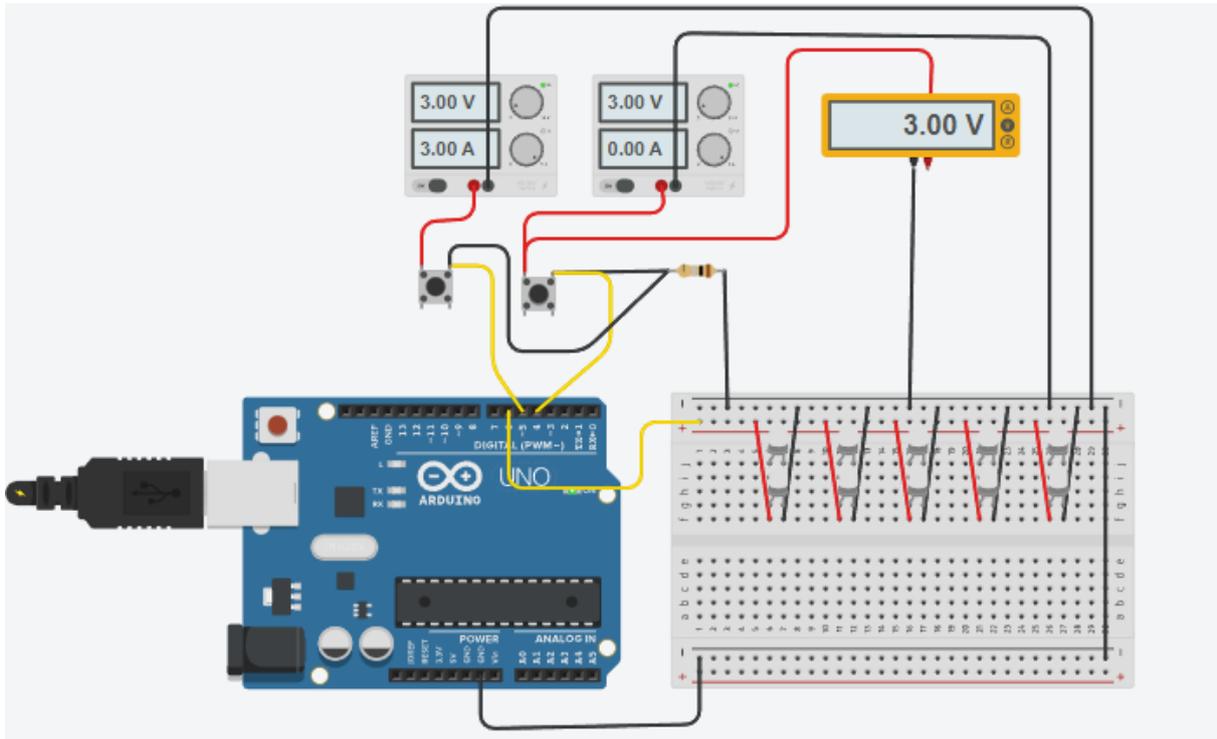


Figura 11 - Circuito montado no *TinkerCAD* simulando o projeto ligando as luzes dos postes
 Fonte: O autor, 2024

A hélice do protótipo foi modelada utilizando o *software Autodesk Inventor*, conforme ilustrado na Figura 12. O *design* foi otimizado para maximizar a captação de vento, permitindo a utilização deste recurso renovável e infinito em ambos os sentidos de tráfego de uma rodovia. Posteriormente, a hélice foi fabricada utilizando uma impressora 3D, como mostrado na Figura 13, no material PLA (ácido polilático). Para esta etapa do projeto, foram produzidas três hastes.

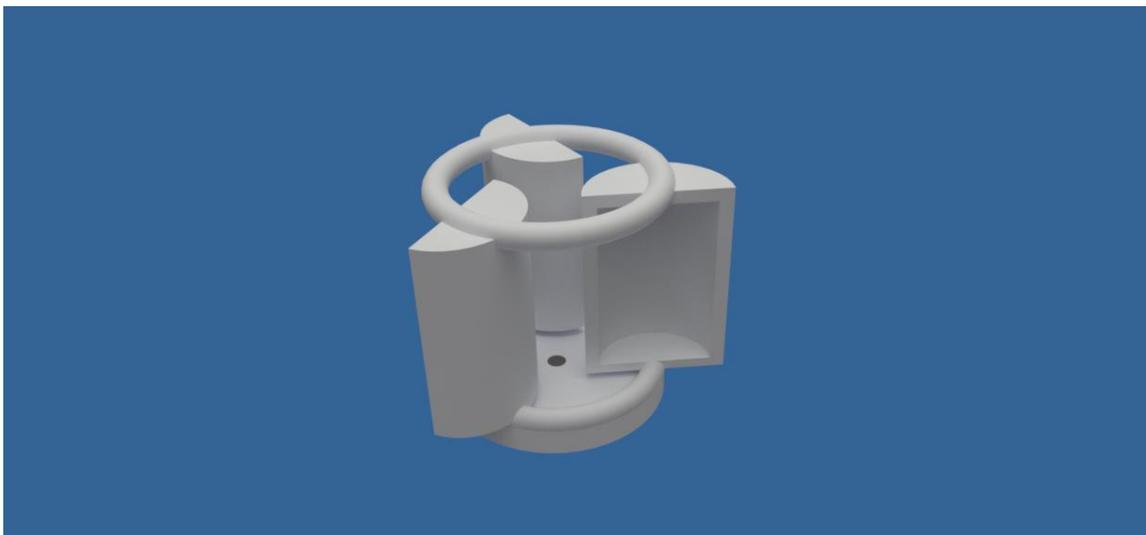


Figura 12 - Turbina eólica modelada no *Autodesk Inventor*
 Fonte: O autor, 2024



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS
Mario Miguel Solcia, Carmen Lúcia Avelar Lessa

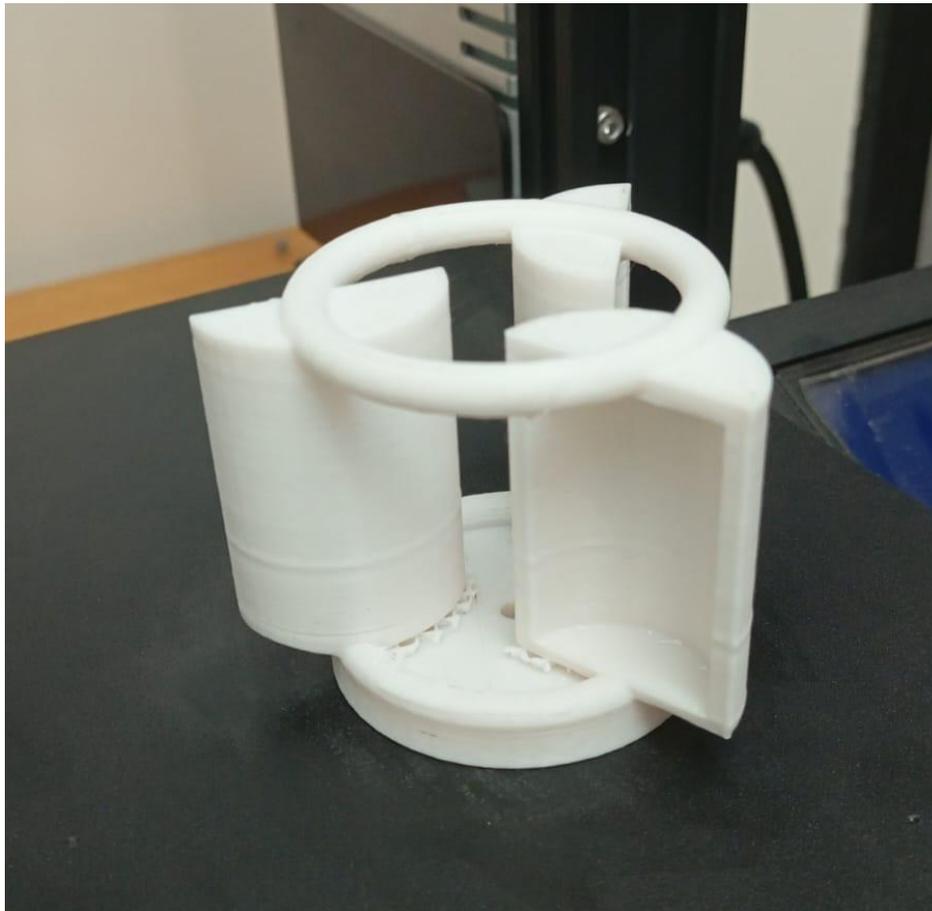


Figura 13 - Haste após a impressão
Fonte: O autor, 2024

Após a impressão das hastes, iniciaram-se os testes, acoplando o protótipo a um motor DC e aplicando uma fonte externa de vento. Utilizando um multímetro, verificou-se a geração de 5,03V, conforme apresentado na Figura 14, tensão suficiente para acionar o Arduino e, conseqüentemente, executar a programação do protótipo.



Figura 14 - Teste da tensão gerada pelo motor DC
 Fonte: O autor, 2024

Com tudo, iniciou-se a montagem do projeto, os componentes foram fixados e toda a ligação elétrica foi realizada conforme o diagrama mostrado na Figura 15. O diagrama ilustra a conexão dos motores nas portas lógicas 3, 4 e 5 do Arduino e a conexão dos LEDs, divididos em dois circuitos com 5 LEDs em paralelo cada, e um resistor de $30\ \Omega$ conectado ao GND, recebendo sinais das portas 2 e 6 do Arduino. Com isso, a montagem do protótipo foi concluída, conforme exibido na Figura 16.

Para se obter o resistor adequado para o circuito, assumindo que a tensão de operação de cada LED é de 2V e a corrente de 20mA, realizou-se os seguintes cálculos:

-Cálculo da corrente total do circuito: como os LEDs estão em paralelo a corrente total é a soma das correntes de cada componente, portanto:

$$I_{total} = 0,02A \times 5 = 0,1 A \quad (1)$$

-Cálculo da tensão dissipada pelo resistor: para esse cálculo utilizou-se a fórmula:

$$V_{resistor} = V_{fonte} - V_{Led} \quad (2)$$

-Como a alimentação do circuito será fornecida pelo Arduino, pode-se adotar $V_{fonte} = 5V$ e $V_{Led} = 2V$, com isso temos:



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS
Mario Miguel Solcia, Carmen Lúcia Avelar Lessa

$$V_{resistor} = 5V - 2V = 3V \quad (3)$$

-Cálculo do resistor através da Lei de Ohm: pela lei de Ohm sabe-se que a resistência é igual a tensão dividida pela corrente, então:

$$R = 3V/0,1A = 30\Omega \quad (4)$$

Dessa forma, conclui-se que para um circuito com 5 LEDs em paralelo, o resistor necessário seria de 30Ω para garantir que cada LED receba a corrente adequada, por isso ele foi o adotado na montagem do circuito do projeto.

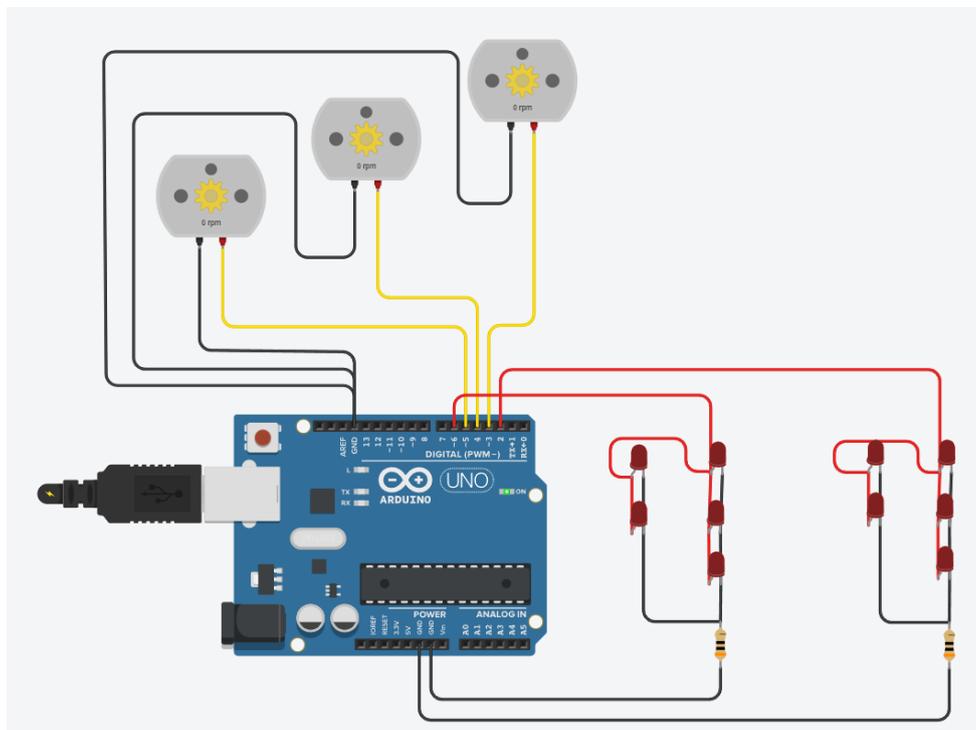


Figura 15 - Diagrama elétrico do circuito do projeto montado no *TinkerCAD*
Fonte: O autor, 2024

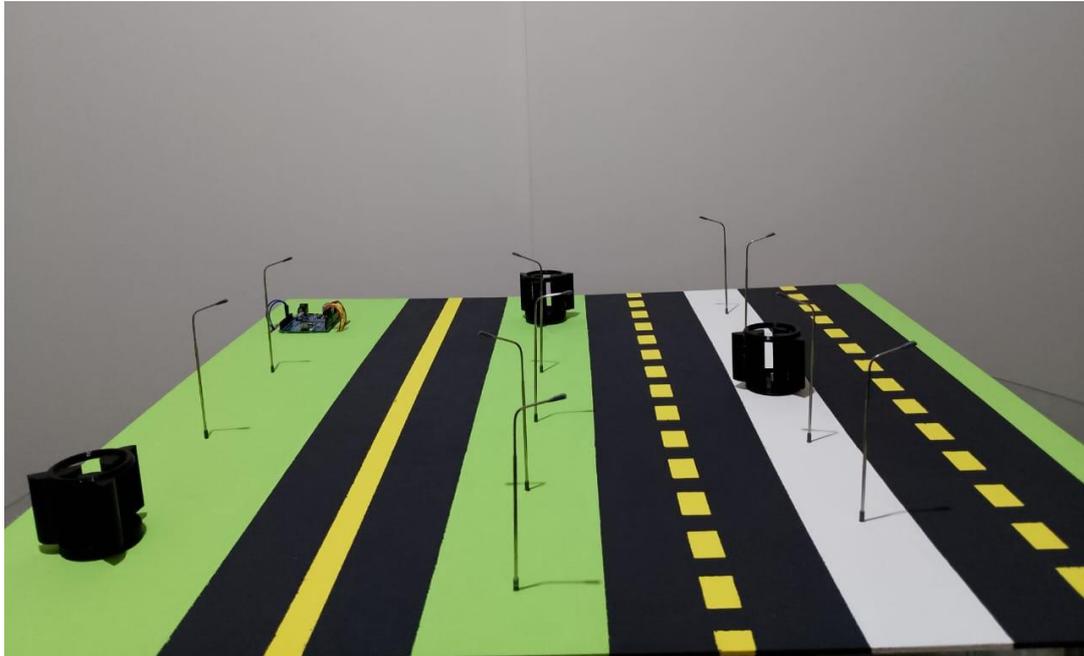


Figura 16 - Montagem final da maquete
Fonte: O autor, 2024

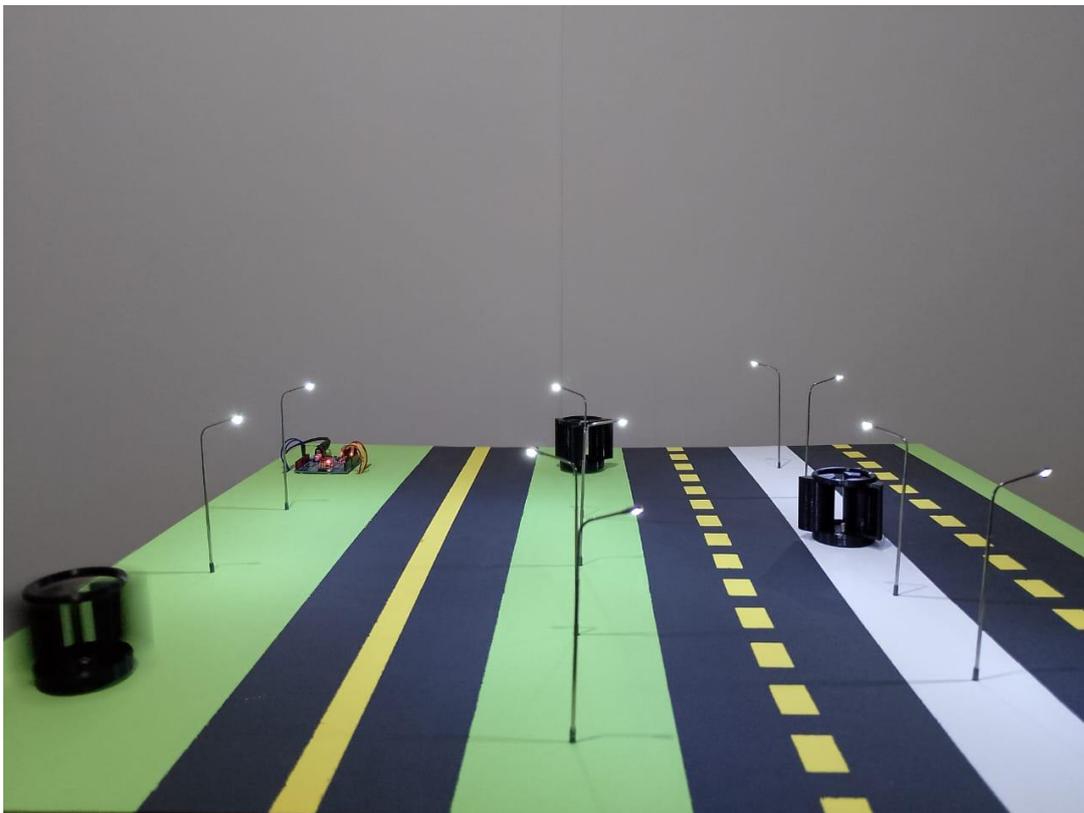


Figura 17 - Funcionamento da maquete de estudo de energia eólica em rodovias
Fonte: O autor, 2024



5. RESULTADOS OBTIDOS

Após a montagem e teste do protótipo de energia eólica em rodovias, foi possível notar que o modelo de turbina utilizado tem grande potencial, visto que ele permitiu uma grande captação do ar que vem no sentido horizontal simulando o que é gerado pelos automóveis nos tráfegos das pistas.

O protótipo demonstrou que é possível converter a energia cinética do ar em energia elétrica de forma eficiente. A instalação de turbinas eólicas ao longo das rodovias pode gerar uma quantidade significativa de energia, especialmente em áreas com alto volume de tráfego.

6. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar um protótipo de energia eólica em rodovias por meio de uma maquete utilizando a hélice de eixo vertical com o intuito de capturar o vento gerado pelo tráfego dos automóveis e converter essa energia mecânica em elétrica a fim de abastecer pequenos centros urbanos, iluminação urbana e outras construções que ficam localizadas em rodovias como por exemplo os pedágios.

A implementação de energia eólica em rodovias pode não apenas reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis, mas também promover a sustentabilidade ambiental, por se tratar de uma fonte de energia infinita e limpa, a grande vantagem é que essas turbinas não dependem do vento natural, mas sim do fluxo constante de veículos, tornando-as uma fonte de energia renovável e eficiente.

Uma limitação deste estudo foi a falta de dados de longo prazo sobre a eficiência das turbinas em diferentes condições climáticas e também de informações sobre a real potência de geração de eletricidade com base na quantidade e força do vento gerado por automóveis em rodovias.

Pesquisas futuras poderiam focar na análise da potência e quantidade de vento produzido em rodovias brasileiras para verificação da geração de energia eólica com eixo vertical e no impacto econômico da instalação dessas turbinas em diferentes regiões.

Dessa forma, este estudo demonstra que a energia eólica em rodovias pode ser uma solução futura viável e sustentável para a geração de energia renovável, contribuindo significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa e este trabalho deixa aberto para a continuação da análise e estudo do tema para possíveis melhorias e adequações para a implementação de energia eólica em rodovias.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, B. E. **Estudo Sobre A Energia Eólica No Brasil**. 2021. TCC (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias Campus Regional Montes Claros, Montes Claros, 2021.

AMARAL, B. M. **Modelos VARX para Geração de Cenários de Vento e Vazão Aplicados à Comercialização de Energia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2011.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS
Mario Miguel Solcia, Carmen Lúcia Avelar Lessa

ANNAN, J. K.; OFOSU, R. A.; ANSONG, J. K. A Prototype VA/HA Wind Turbine Design for Electric Power Generation by Moving Vehicles. **Journal of Science and Technology**, v. 5, n. 2, 2021.

CAMPOS M. Energia eólica. **Mundo Educação**, 2024. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/energia-eolica.htm>. Acesso em: 03 jun. 2024.

CARVALHO J. V. **Turbinas Eólicas ou Aerogeradores**. [S. l.]: OAK Energia, 2020. Disponível em: <https://oakenergia.com.br/turbinas-eolicas/>. Acesso em: 20 maio 2024.

CHESTNEY, N. Energia eólica terá recorde de instalação no mundo até 2027. **CNN Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/energia-eolica-tera-recorde-de-instalacao-no-mundo-ate-2027/>. Acesso em: 13 abr. 2024.

ELIGENIO. **Turbina-Eolica**. [S. l.]: Eligenio, 2024. Disponível em: <https://eligenio.com/pt/glosario/turbina-eolica>. Acesso em: 21 abr. 2024.

HAN, F.; BANDARAKAR A. W.; SOZER Y. Energy Harvesting from Moving Vehicles on Highways. *In: Conference: 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. 2019, p. 974-978.

LARCO, M. A Energia Eólica e o impacto dinâmico na Economia brasileira. **Canal Energia**, 2024. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/artigos/53272275/a-energia-eolica-e-o-impacto-dinamico-na-economia-brasileira>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MARTINS, F. Brasil sobe posição em ranking global de produção de energia eólica. **CNN Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/brasil-sobe-posicao-em-ranking-global-de-producao-de-energia-eolica/>. Acesso em: 13 abr. 2024.

MEDEIROS, V. Nova turbina eólica de rodovias com tecnologia revolucionária utiliza o vento produzido pelos veículos para gerar energia elétrica infinita. **Click Petróleo e Gás**, 2024. Disponível em: <https://clickpetroleoegas.com.br/turbina-eolica-de-rodovias-com-tecnologia-revolucionaria-utiliza-o-vento-produzido-pelos-veiculos/>. Acesso em: 19 jul. 2024.

OLSEN, N. Turbinas usam vento produzido por veículos para gerar energia. **Ciclo Vivo**, 2021. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/turbinas-usam-vento-produzido-por-veiculos-para-gerar-energia/>. Acesso em: 31 jul. 2024.

PICOLO, A. P.; RUHLER, A. J.; RAMPINELLI, G. A. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. **Revista Brasileira Ensino Física**, v. 36, n. 4, 2014.

PORTAL SOLAR. Energia eólica: o que é, como funciona, vantagens e desvantagens. **Portal Solar**, 2024. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-eolica>. Acesso em: 03 jun. 2024.

SANTOS, E. C. High Voltage Direct Current (HVDC) Multi-Terminal Ligados A Parques Eólicos Offshore. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 8, n. 6, p. 147-158, 2022.

SERAFIM, M. R. **Exploração Da Viabilidade Do Potencial Eólico Rodoviário**. 2015. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto Tecnológico de Caratinga – ITC (DOCTUM), Caratinga, 2015.

SOUZA, L. L.; CUNHA, R. B.; SANTOS, M. H. Análise Da Geração De Energia Eólica. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v. 1, n. 34, 2013.

STEFFEN, L. Wind Turbines Attached To Lamp Posts Generate Electricity Via Traffic. **Intelligent Living**, 2020. Disponível em: <https://www.intelligentliving.co/wind-turbines-lamp-posts/>. Acesso em: 31 jul. 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

ESTUDO DE PROTÓTIPO DE ENERGIA EÓLICA EM RODOVIAS
Mario Miguel Solcia, Carmen Lúcia Avelar Lessa

TELUB. **Turbinas Eólicas**. [S. l.]: Telub, 2022. Disponível em: <https://www.telub.com.br/blog/artigos-tecnicos/turbinas-eolicas>. Acesso em: 15 abr. 2024.

TEMPO DE ENERGIA. A Ascensão da Energia Eólica no Brasil comparado ao Mercado Internacional. **Tempo de Energia**, 2023. Disponível em: <https://tempoenergia.com.br/ascensao-da-energia-eolica-no-brasil/>. Acesso em: 14 abr. 2024.