

ESTUDO DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM CENTROS URBANOS E RODOVIAS

STUDY OF ELECTRIC ENERGY MICROGENERATION IN URBAN CENTERS AND HIGHWAYS

Matheus Kawan da Costa Silva¹, Gileade Jizreel Marques dos Santos Sousa², Christopher Gargamala Oliveira de Moraes³, Renato de Brito Sanchez⁴

Resumo: É um fato que a energia elétrica é importante para o desenvolvimento econômico do planeta e a cada dia que passa novas situações são descobertas onde os meios convencionais de geração de eletricidade estão degradando as condições da natureza ou encontram-se em situações de escassez. Para isso, propõe-se a utilização de aerogeradores verticais em centros urbanos em topos de edifícios, utilizando a altura elevada deles para captação do vento e em acostamentos de rodovias, gerando energia elétrica utilizando o vento de arrasto gerado pela passagem dos automóveis. A matriz energética brasileira é composta por diversas fontes de energia, tendo a hidráulica como a principal fonte de eletricidade no Brasil porém, devido ao impacto ambiental gerado para sua produção além do grande fator de risco que são os períodos de seca, como a ocorrida no ano de 2014 na região sudeste do país, existe um desafio para suprir as demandas energéticas dependentes ao crescimento econômico ampliando a forma de geração de energia como é o caso da eólica que possui um grande potencial energético com danos mínimos ao meio ambiente.

Palavras-chave: Microgeração eólica. Sustentabilidade energética. Autogeração elétrica. Aerogerador. Turbina eólica.

Abstract: *It is a fact that electricity is important for the planet's economic development and with each passing day new situations are discovered where conventional means of electricity generation are degrading the conditions of nature or are in situations of scarcity. For this, it is proposed the use of vertical wind turbines in urban centers on tops of buildings, using their high height to capture the wind and on*

roadsides, generating electricity using the drag wind generated by the passage of cars. The Brazilian energy matrix is composed of several energy sources, with hydraulics as the main source of electricity in Brazil, however, due to the environmental impact generated by its production, in addition to the great risk factor that are the drought periods, such as that which occurred in year 2014 in the southeast region of the country, there is a challenge to meet the energy demands dependent on economic growth, expanding the form of energy generation, such as wind power, which has a great energy potential with minimal damage to the environment.

Keywords: *Micro wind generation. Energy sustainability. Electric self-generation. Wind turbine.*

I. INTRODUÇÃO

Atualmente a busca por novas fontes de energia vem sendo mais ampliada, e a matriz energética vem se adaptando a essas mudanças, com a introdução de fontes renováveis que é um dos temas mais debatidos como energia solar e eólica, onde essa última por sua vez vem chamando muita atenção devido seu crescimento na matriz energética nacional e que vai de encontro com estimativas que apontam para um potencial de geração eólica de 143,5 mil MW no território Nacional (MME, 2021 apud ALAGER, 2021), valor superior ao total da potência instalada no país em 2010.

A tabela a seguir mostra os dados de potencial energético localizados na cidade de São Paulo, que é

¹Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Eniac. E-mail: matheuskawan@icloud.com.

²Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Eniac. E-mail: gileade3@hotmail.com.

³Pós-Graduação em Gestão de Projetos e Engenheiro Mecatrônico do Centro Universitário Eniac. e-mail: crisgomoraes@gmail.com.

⁴Professor Doutor dos Cursos de Engenharia na Universidade de Santo Amaro (UNISA). e-mail: renatobritosanchez@gmail.com.

formado por uma mistura entre território montanhoso e morros (FEITOSA, 2003 apud ANDERSON, 2015).

Quadro 1 – Classes de Energia

Definição das Classes de Energia										
	Mata		Campo Aberto		Zona Costeira		Morros		Montanhas	
Classe	Vm (m/s)	Em (W/m ²)	Vm (m/s)	Em (W/m ²)	Vm (m/s)	Em (W/m ²)	Vm (m/s)	Em (W/m ²)	Vm (m/s)	Em (W/m ²)
4	>6	>200	>7	>300	>8	>480	>9	>700	>11	>1250
3	4,5-6	80-200	6,5-8	200-300	6,5-8	250-480	7,5-9	380-700	8,5-11	650-1250
2	3-4,5	25-80	4,5-6	80-200	3-4,5	100-250	6-7,5	200-380	3-4,5	300-650
1	<3	<25	<4,5	<80	<3	<100	<6	<200	<7	<300

Fonte: Feitosa et al. (2003), p.54 apud Anderson (2015).

A energia eólica se destaca devido sua matéria prima ser mais acessível se comparado com a solar, que depende de fatores como horário a ser utilizado e clima do tempo.

Além disso, sabemos que a produção de energia elétrica a um preço justo está diretamente associada com o desenvolvimento do país, transformando essa em uma das opções que podem ajudar neste crescimento através da sustentabilidade e expansão do mercado. Ou seja, ampliar nosso sistema integrado de energia elétrica ajudará no desenvolvimento de novos empregos e renda extra para a população (SMITH, 1776 apud MAGALHÃES, 2009).

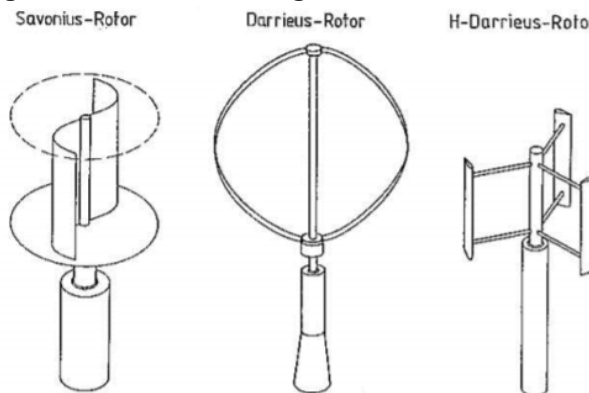
Com base nisto, este trabalho abordará uma pesquisa que resultara numa prototipação sobre a instalação de aerogeradores em rodovias, afim de comprovar sua eficácia para produção de energia eólica em centros urbanos e rodovias, minimizando os impactos ambientais, desenvolver e oferecer como proposta um aerogerador vertical que atenda aos requisitos de eficácia e sustentabilidade (DANTAS, 2015), que poderá ser empregado em centros urbanos nos topos de edificios e residências além das rodovias, utilizando o deslocamento de ar gerado pelos automóveis, permitindo que essa energia seja utilizada para alimentação de baterias de autos híbridos e elétricos, ampliação da iluminação das rodovias, cidades e bairros.

Com base nos dados divulgados pelo Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da

Prefeitura de São Paulo, é possível observar uma média de 12 m/s na velocidade do vento na cidade de São Paulo, que possui 12,33 milhões de pessoas (IBGE, 2020).

Existem hoje diversos modelos de Turbinas Eólicas Verticais (TEEVs), na qual cada uma apresenta uma particularidade e eficiência como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Modelos de Aerogeradores de Eixos Verticais.



Fonte: Vitorino, 2012.

Para a realização deste estudo foi utilizado modelos matemáticos baseados na teoria de funcionamento para as Turbinas Eólicas de Eixos Verticais (TEEVs), pesquisa com revisão da literatura para fundamentação da aplicação voltado a esse segmento, necessário para confirmação de eficiência teórica e cálculos necessários para dimensionamento de uma turbina.

A região considerada neste estudo é a capital paulista, São Paulo–SP, devido grande movimentação de carros, grande número de prédios e a melhor localidade para a realização da medição física além da implementação do protótipo para coleta de dados. Já o modelo de turbina proposto neste estudo será o Darrieus-Savonius.

Os valores mínimos para geração de energia eólica devem estar entre 7 a 8 m/s (MEYER; GRUBB, 1993 apud ALAGER, 2021) e com base nessa informação, fez se necessário o levantamento dos dados de velocidade do vento do Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo, onde foi possível analisar o comportamento do

vento nas regiões urbanas e suas variações, e serão utilizados como parâmetros para o dimensionar o gerador a ser utilizado no modelo de TEEV proposto, para comparação de eficiência com os modelos já disponíveis.

O foi projetado utilizando o software Sketchup 3D, e seu protótipo fabricado no laboratório do Centro Universitário ENIAC, utilizando impressora 3D, e dutos de PVC de 6”, dois motores reutilizados de uma impressora usada para uso como geradores, além dos diversos materiais para montagem da estrutura e suporte como uma roda de carro velha e madeira reciclada, sendo que esta última pode ser substituída por ferro reciclável.

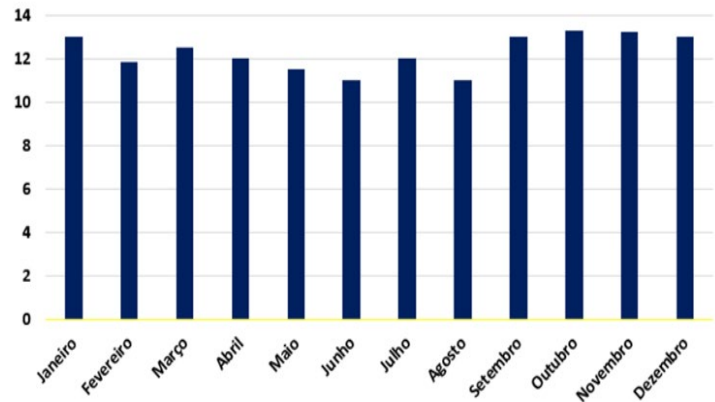
O modelo de TEEV considerado neste estudo foi o Rotor Darrieus-Savonius que apresenta a melhor eficiência entre os modelos disponíveis no mercado com uma eficiência que pode alcançar até 51% comparando-o com os modelos convencionais de eixo horizontal (GHOSH et al, 2013 apud SPALENZA, 2016).

O dimensionamento do eixo do rotor foi feito seguindo os dados de velocidade do vento colhidos, além da massa específica do ar de 1,225kg/m³ do padrão internacional (MANWELL; MCGOWAN; RROGERS, 2019). Enquanto para o dimensionamento da potência do aerogerador, foi utilizado o estudo feito por Burton et al. (2011).

II. MATERIAS E MÉTODOS

Para análise de potencial energético na região e locais pretendidos, foi realizada uma pesquisa utilizando dados mensais, disponibilizados pelo Centro de Gerenciamento de Emergências Climáticas da Prefeitura de São Paulo sobre os valores médios de velocidade média do vento na cidade em questão, e que serviram como base para a elaboração dos gráficos apresentados nas Figuras 2 e 3.

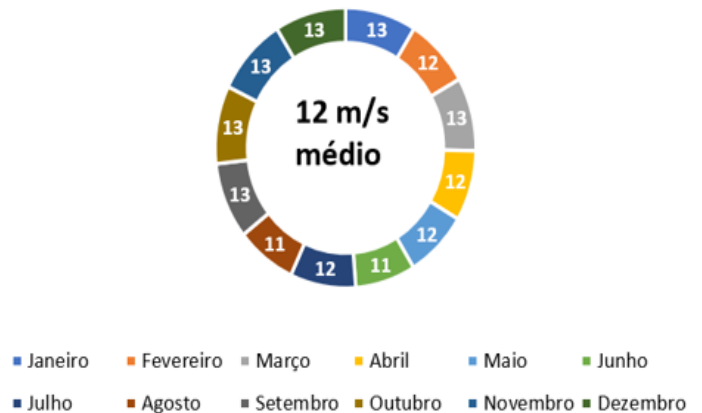
Figura 2 - Velocidade do Vento - São Paulo



Fonte: CGE Prefeitura SP, 2020 apud Meteored, 2021.

Com base no histórico meteorológica na cidade considerada, é encontrada a média de 12 m/s na velocidade do vento em 2020 (CENTRO DE GERENCIAMENTO DE EMERGÊNCIAS CLIMÁTICAS NA CIDADE DE SÃO PAULO, 2020 apud METEORED, 2021), para a capital que atualmente ocupa o posto de metrópole mais influente na América Latina, e que ocasionalmente terá consigo um grande número populacional.

Figura 3 - Velocidade Média Anual – São Paulo



Fonte: CGE Prefeitura SP, 2020 apud Meteored, 2021.

Além disso, diversas amostras de velocidade do vento foram colhidas em um acostamento na Av. Presidente Dutra utilizando o dispositivo de medição anemômetro, onde foi possível constatar dentro de um período de 30 minutos, valores de velocidade do vento de 2 m/s a 7 m/s, chegando a uma média de 4,2 m/s, que chegam próximos dos valores necessários

mínimos necessários para geração de energia elétrica (MEYER; GRUBB, 1993 apud ALAGER, 2021).

Para este estudo o modelo de aerogerador considerado foi o modelo Darrieus-Savonius que é o resultado da junção de dois outros modelos, e que juntos, conseguem obter valores de eficiência mais atrativos quando comparados a modelos mais simples, podendo alcançar valores de eficiência de até 51%.

Figura 4 – Foto de um Aerogerador Vertical Darrieus-Savonius



Fonte: Spalenza, 2016.

O protótipo será construído visando o menor custo-benefício, e para isso iremos construir suas peças utilizando impressão 3D, tanto de suas pás quanto peças secundárias.

O modelo Darrieus-Savonius é o que alcança percentuais de eficiência mais próximos dos aerogeradores convencionais de eixo horizontal.

Para encontrar os valores de geração de energia elétrica do protótipo, considerando os valores de velocidade do vento nos locais pretendidos neste estudo, que se localizam nos cumes de prédios e acostamento de rodovias, podemos utilizar a seguinte equação (PAVINATTO, 2005):

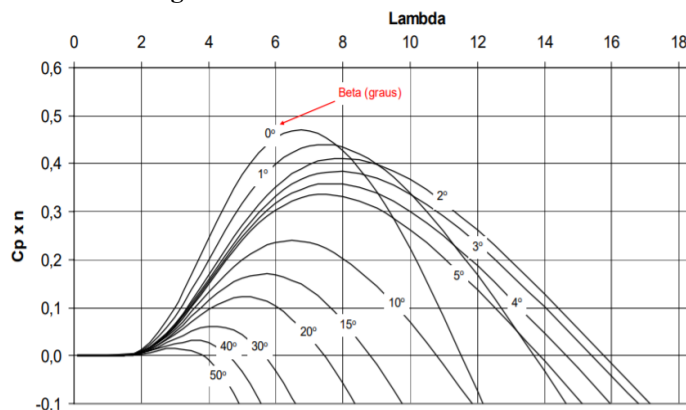
$$(P_{GER}) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_r \cdot V^3 \cdot C_p [W]$$

O valor da área varrida é encontrado com a seguinte equação (SPALENZA, 2016):

$$A_r = 2 \cdot r \cdot h$$

Onde d será o valor da distância entre as pás, e h a altura das mesmas, e ρ é a densidade do ar nos pontos propostos, A_r é a área total projetada pelo rotor da turbina, V é a velocidade do vento, C_p o coeficiente de potência aerodinâmica das pás, que nesse estudo foi utilizado o valor de 0,225 referente a 2/3 do valor ótimo de um gerador Darrieus, conforme dados do gráfico da Figura 5.

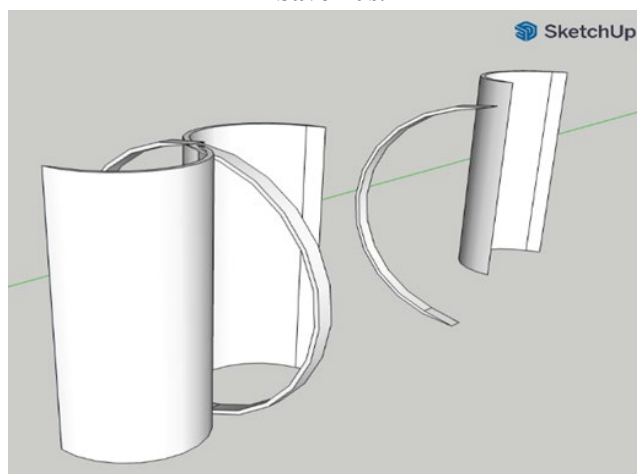
Figura 5 - Coeficientes de Potência.



Fonte: Pavinatto, 2005.

O protótipo foi projetado utilizando o software SketchUp, permitindo uma visão tridimensional das pás, que foram utilizadas para a montagem.

Figura 6 - Modelo Aerogerador Vertical de Darrieus-Savonius.



Fonte: Autor, 2021.

Seguindo o desenho desenvolvido em software, o protótipo foi elaborado conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Protótipo Aerogerador Darrieus Savonius.

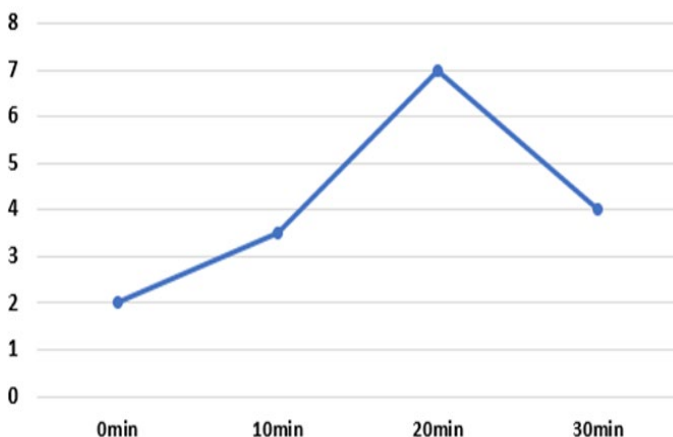


Fonte: Autor, 2021.

III. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Utilizando o dispositivo de medição Anemômetro, para medida da velocidade do vento no acostamento da Rodovia Presidente Dutra, foram encontrados os valores mostrados na tabela abaixo:

Figura 8 - Velocidade do Vento na Rodovia Presidente Dutra.



Fonte: Autor, 2021.

O Gráfico reflete os valores de velocidade do vento dentro de um intervalo de 30 minutos no acostamento da Rodovia Presidente Dutra.

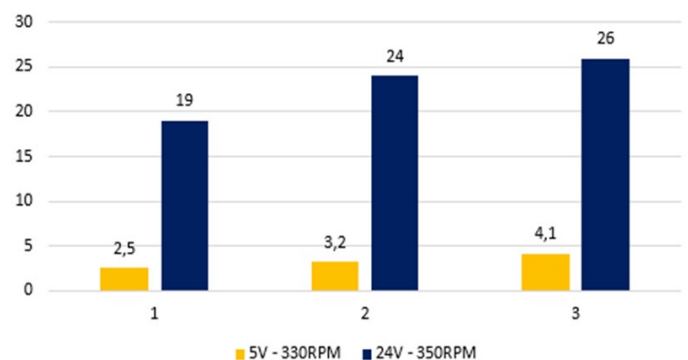
Figura 9 - Coleta de Dados Físicos.



Fonte: Autor, 2021.

Os testes foram realizados utilizando dois geradores com capacidades diferentes. O primeiro gerador com especificações nominais de 5 V 330 RPM, que se mostrou uma maior linearidade entre os valores coletados, porém, com valores de tensão mais baixos. Já o segundo de 24 V e 350 RPM, apresentou a situação oposta, tendo valores de tensão maiores, enquanto seus valores de tensão apresentam maior variação.

Figura 10 - Valores de Tensão Gerado com o Protótipo.



Fonte: Autor, 2021.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fontes de energias limpas e renováveis estão sendo cada vez mais utilizadas, e a fim de promover uma melhor qualidade e correto aproveitamento do meio ambiente, este estudo que propõe utilizar aerogeradores em espaços e regiões mais populosas,

onde se limitava a grande maioria da utilização de energia elétrica via geração hidráulica, é vista com bons olhos por pesquisadores e especialistas que estão desenvolvendo cada vez mais estudos no segmento, e com o resultado deste artigo que acrescenta ainda mais estas pesquisas pode-se abrir a possibilidade para novas oportunidades, promovendo com esse protótipo a geração de energia elétrica que pode ser utilizada para abastecimento de diversas regiões como por exemplo em locais com baixa iluminação podendo melhorar a qualidade do bem estar e segurança da população, regiões onde os habitantes tenham baixa renda e baixas condições financeiras através de programas do governo para construção e fornecimento desses aerogeradores, possibilitar o alívio no preço da energia elétrica no consumo mensal residencial, além de diversos outros fatores positivos que viabilizam a proposta, devido ao baixo custo necessário para a construção desses que oferecem energia elétrica, através da reciclagem de materiais elétricos e mecânicos.

Além disso, este artigo tem importante influência no que pode ser uma nova oportunidade para investimento, onde investidores e as concessões rodoviárias podem usá-lo como modelo para partirem a criar micro usinas para geração eólica através dos acostamentos de rodovias gerando eletricidade com o movimento de arrasto do vento gerado pela passagem de automóveis, permitindo a criação de postos de abastecimento para autos elétricos, uma vez que a tendência para utilização dos mesmos vem ganhando bastante destaque, tendo como um dos fatores que a impedem de ocorrer mais rápido, a estrutura de abastecimento elétrico no Brasil, que hoje não está preparada para receber em massa essa mudança.

V. REFERÊNCIAS

ALAGER - ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL. **Energia Eólica**. Disponível em: http://alager.org.br/energia_eolica.html. Acesso em: jun. de 2021.

ANDERSON, R. S. R. **Desenvolvimento de uma Turbina Eólica de Eixo Vertical Tipo H**. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia de Energias Renováveis e Ambiente. UNIPAMPA, 2015.

BURTON, T. et al. **Wind energy handbook**. 2. ed. John Wiley & Sons, 2011.
DOI:10.1002/9781119992714

DANTAS, A. F. R. **Sustentabilidade de aerogeradores urbanos**. Tese de Doutorado em Desenvolvimento Econômico. UNICAMP, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Habitantes na Cidade de São Paulo**, 2020.

MAGALHÃES, M. V. et al. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no Brasil**. Monografia de Bacharelado em Ciências Contábeis. UFSC, 2009.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, G. J.; ROGERS, A.L. **Wind Energy Explained: Theory, Design and Application**. 2. ed. John Wiley & Sons, 2009.
ISBN 978-0-470-01500-1.

METEORED. **Histórico da Previsão do Tempo para São Paulo – SP**. Disponível em: <https://www.tempo.com/sao-paulo-sactual.htm>. Acesso em: jul. de 2021.

PAVINATTO, E. F. **Ferramenta para auxílio à análise de viabilidade técnica da conexão de parques eólicos à rede elétrica**. Tese de Mestrado em Engenharia Elétrica. COPPE/UFRJ, 2005.

SPALENZA, E. C. **Projeto Aerodinâmico de uma Turbina Eólica de Eixo Vertical (TEEV) para Ambientes Urbanos**. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica. UFES, 2016.

VITORINO, C. R. S. **Modelagem Dinâmica de Caixa Multiplicadora de Velocidade de aerogeradores**. Projeto de Graduação para Bacharelado em Engenharia Mecânica. UNB, 2012.