

MOTORES DE TORRES EÓLICAS: UM ESTUDO SOBRE FUNCIONAMENTO E DESEMPENHO

Sara Cristina Gomes de Souto*
Marcilene Vieira da Nóbrega**

*Graduanda em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Angicos. sara.souto@alunos.ufersa.edu.br.

**Professora do Centro Multidisciplinar de Angicos (CMA) da UFERSA. marcilenenobrega@ufersa.edu.br

RESUMO

Energia Eólica é uma forma de energia renovável que aproveita a força dos ventos para gerar eletricidade. Essa fonte de energia mais limpa em comparação às outras, utiliza aerogeradores, que são dispositivos projetados para converter a energia cinética das massas de ar em energia elétrica. O funcionamento eficiente de uma turbina eólica é fundamental para maximizar a produção de energia eólica, e isso envolve a otimização de sua eficiência. No presente trabalho foram realizadas pesquisas bibliográficas em artigos, livros e monografias através do google acadêmico e SciELO. Os resultados alcançados dessas pesquisas foram promissores, porém ainda se tem a necessidade de estudos mais avançados na área.

Palavras-chave: Energia Eólica. Turbina Eólica. Eficiência de Aerogerador. Projeto Aerodinâmico.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com as fontes de energia convencionais teve início em 1970 com a crise do petróleo e interesse pela preservação ambiental PINTO (2012). Com isso, surgiu o interesse em aproveitar essa energia renovável para a geração de energia elétrica. Uma dessas fontes é a energia eólica que se trata de uma fonte renovável gerada pela força dos ventos podendo-se obter eletricidade de maneira limpa e renovável.

Com crescente desenvolvimento tecnológico, os parques eólicos desempenham um papel fundamental na produção de eletricidade em muitos países ao redor do mundo. Eles são formados por fileiras de turbinas eólicas estrategicamente localizadas em áreas com ventos consistentes e à medida que as turbinas captam a energia cinética do vento, ela é transformada em eletricidade, BARBOSA (2020).

Nos dias atuais o setor eólico é responsável por grande parte da geração de energia elétrica do mundo, de acordo com dados da Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), até julho de 2023, o Brasil possuía mais de 10 mil aerogeradores em operação. A energia gerada por eles representa 13,4% da matriz elétrica brasileira, somente no Rio Grande do Norte, 3 mil estão em operação com 7,9 gigawatts de potência fiscalizada. O estado da Bahia está em segundo lugar no ranking com maior quantidade de aerogeradores com 7,6 GW e 2.878 equipamentos em operação. Ainda de acordo com a ANEEL, na primeira semana de julho de 2023, 262 novos aerogeradores entraram em operação comercial e estão cada vez mais potentes e altos, os equipamentos atuais podem chegar 200 metros de altura.

A torre eólica é composta por três partes básicas: a turbina eólica, a torre propriamente dita e o bloco de fundação. Esse artigo irá tratar das turbinas que são responsáveis pela transformação do vento em energia elétrica. Estas máquinas são capazes de absorver energia cinética do vento de forma aerodinâmica transformando-a em energia mecânica e convertida em energia elétrica através do acoplamento com o gerador elétrico. (PINTO, 2012).

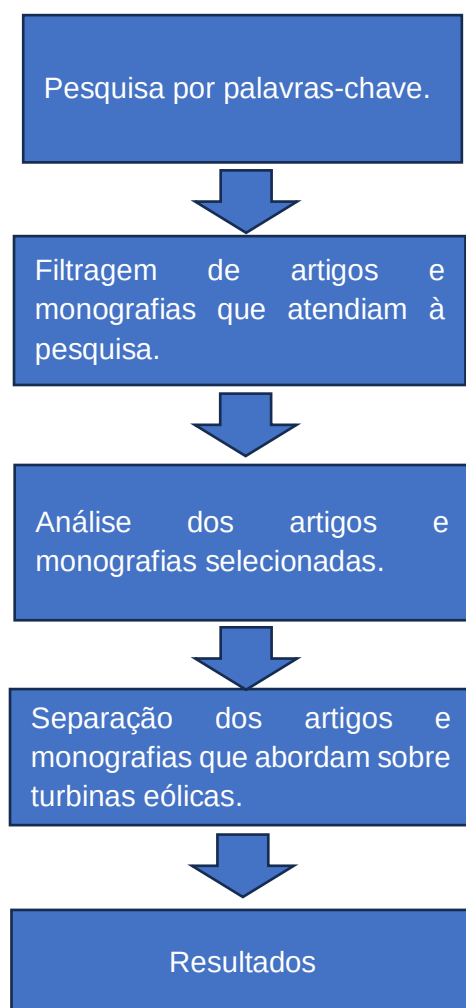
Diante do exposto, este artigo tem como objetivo principal entender o funcionamento das turbinas eólicas e a sua composição para que seja realizado uma análise de como estes equipamentos podem aumentar ainda mais a geração de eletricidade.

METODOLOGIA

De acordo com GIL (2002), as pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito construindo hipóteses, inclui levantamentos bibliográficos e entrevistas. O autor também ressalta que o estudo descritivo tem como objetivo descrever as características de determinado fenômeno.

Nesta pesquisa, de caráter exploratório e descritivo promoveu-se a busca de artigos e monografias presentes na literatura científica através do site de busca Google Acadêmico, utilizando as seguintes palavras-chaves: “Turbinas eólicas”; “artigos científicos sobre maximização de turbinas eólicas”, “artigos científicos sobre turbinas eólicas”; “impactos da Energia Eólica”; “Monografias sobre melhorias na eficiência de turbinas eólicas” e “Artigos científicos sobre maximização de turbinas eólicas”. Os resultados obtidos dessas expressões lançadas nos bancos de dados foram checados, sendo selecionados trabalhos acadêmicos que atendiam a necessidade da pesquisa. E também livros sobre energia eólica retirados da biblioteca Virtual Ufersa. Na Figura 1, o método é mostrado como foi realizada a pesquisa.

Figura 1 - Análise da Literatura Científica



Autoria própria.

2 DESENVOLVIMENTO

Turbinas eólicas são equipamentos que absorvem parte da energia cinética do vento, convertendo-a em energia mecânica, que é convertida em energia elétrica através de um gerador elétrico acoplado, então é transmitida para a rede da concessionária e assim distribuídas nas residências PIPE (2020), como é mostrada na Figura 2. Seu funcionamento é baseado nas teorias de mecânica dos fluidos e elementos da aerodinâmica.

Figura 2- Turbina eólica



Fonte: Mundo da elétrica.

2.1 Princípios de operação

A operação de uma torre eólica, conforme mostrada na Figura 3, funciona da seguinte maneira: o vento passa pelas hélices e as forças aerodinâmicas nas pás giram o rotor, fazendo com que o eixo da turbina, acoplado a um gerador de potência, alcance altas rotações, assim produzindo energia OLIVEIRA (2019).

Segundo PINTO (2012), as correntes de ar em terrenos planos ou regiões em topos de morros podem chegar a velocidades entre 10 e 65 mph (16 e 105 km/h). As condições de funcionamento das turbinas eólicas dependem do vento, uma vez que as pás necessitam do mesmo para girar e produzir energia.

Figura 3 - Torre eólica.

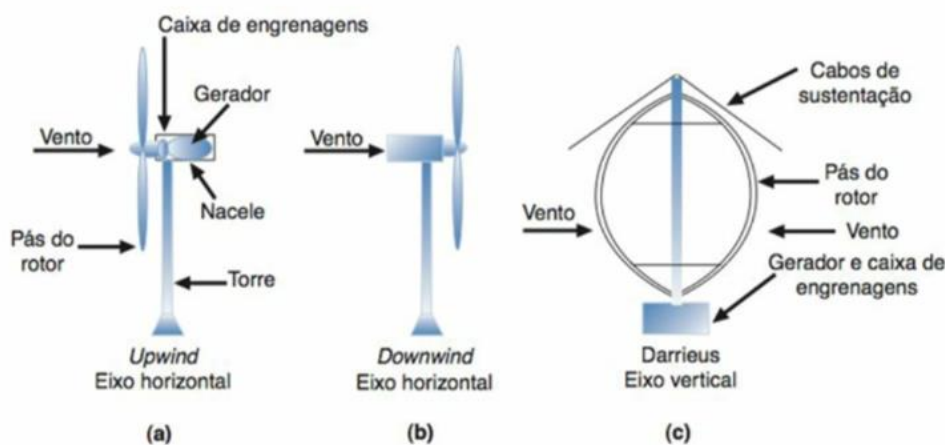


Fonte: Mundo da elétrica.

2.2 Tipos e Componentes de uma turbina eólica

As turbinas podem ser classificadas sendo de eixo horizontal e eixo vertical conforme é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Turbinas com eixo horizontal (a e b) e vertical (c).

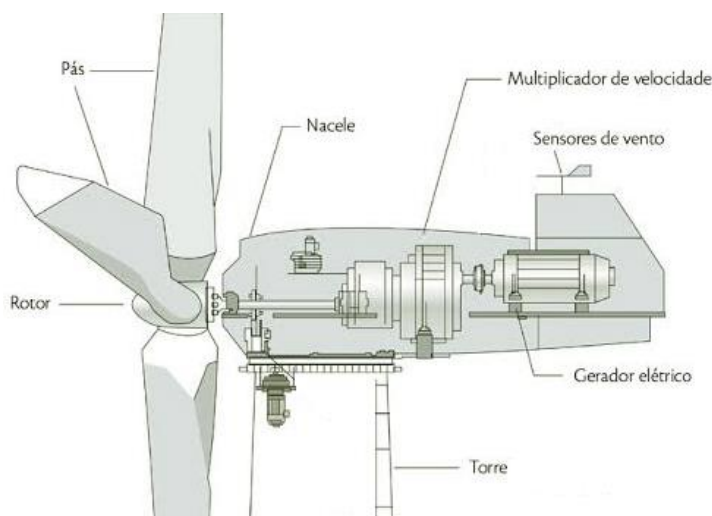


Fonte: Adaptado de PINTO (2013).

As turbinas de eixo horizontal são as mais utilizadas em aplicações comerciais podendo ser classificadas em *Upwind*, onde o vento incide diretamente no rotor e *Downwind*, quando o vento passa primeiro pela torre e nacele antes de chegar ao rotor. Já as turbinas de eixos verticais, possuem pouca capacidade e eficiências menores em comparação com turbinas horizontais, elas são mais utilizadas em aplicações de baixa potência voltadas para áreas urbanas e residências. Nesse artigo, vamos dar ênfase as turbinas de eixo horizontal.

Todas as turbinas eólicas são formadas por componentes básicos mostrados na Figura 5, sendo eles: rotor, eixos de alta e baixa rotação, nacele, caixa multiplicadora, gerador, freio e outros acessórios elétricos e a torre.

Figura 5 - Interior de uma turbina eólica.



Fonte: Winbox operação e manutenção.

DA SILVA (2013) explica que as pás do rotor possuem seções transversais em forma de aerofólios para absorver maior quantidade de vento. Elas são sujeitas às forças e tensões previstas nas teorias aerodinâmicas para asas, que foram desenvolvidas e testadas pela indústria aeroespacial.

De acordo com PEREIRA (2016) a nacela, é a estrutura de maior peso de uma torre eólica, contém os outros componentes que são acoplados diretamente ao rotor, como o freio, a caixa multiplicadora e o próprio eixo. A caixa multiplicadora, é o elemento mais pesado de um aerogerador, responsável por converter a rotação relativamente baixa do rotor a uma mais alta que o gerador possa usar para produzir energia. Ela está conectada aos eixos de baixa e alta rotação, sendo posicionada logo após o rotor. É preciso que haja um freio mecânico na turbina, para que em casos de ventos extremos que causem rotações em excesso, ela possa ser parada sem que haja danos ao equipamento. Esse freio em geral é colocado no eixo de baixa rotação, antes da caixa multiplicadora.

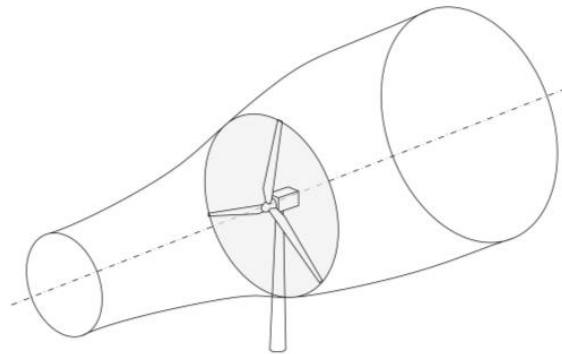
PEREIRA (2016) menciona que há também outros componentes que lidam com o ajuste de sua direção para lidar com mudanças na direção do vento, como o anemômetro por exemplo, ele é um dispositivo que mede a velocidade do vento, que são usados para fornecer informações sobre a velocidade e direção do vento. Esses dados são essenciais para o controle e ajuste da turbina, permitindo que ela opere de forma eficiente e segura. Dessa forma, garante-se que a turbina esteja sempre orientada corretamente em relação ao vento. Tem-se também diversos sistemas elétricos que não serão citados neste artigo, pois não serão objetos de estudo.

2.3 O vento

PIPE (2016) explica que o movimento do vento ocorre devido às diferenças de pressão atmosférica e à rotação da Terra, quando há uma diferença de pressão entre duas áreas, o ar se desloca da área de alta pressão para a área de baixa pressão.

O mesmo autor explica que os aerogeradores são projetados para aproveitar ao máximo a energia. É por isso que a sua localização é cuidadosamente escolhida em áreas com ventos consistentes e fortes, fornecendo energia cinética necessária para girar as pás do aerogerador, quando as pás giram, elas acionam o gerador, que converte essa energia em eletricidade. Os equipamentos possuem duas limitações: são dependentes do vento e o mesmo em excesso causam danos. Na Figura 6 é mostrada como o vento passa por uma turbina eólica.

Figura 6 – Vento passando por uma turbina eólica de eixo horizontal.



Fonte: Silva (2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção serão apresentadas as análises obtidas através da literatura científica para compreender as propostas de melhorias dos aerogeradores, e como isso pode ajudar os mesmos a se tornarem altamente eficientes.

Com os crescentes avanços tecnológicos é necessário realizar uma exploração mais ampla no desempenho das turbinas. Por esse motivo, existem estudos constantes acerca de como aumentar a produção de eletricidade desses equipamentos, as pesquisas têm focado na questão da aerodinâmica das pás. A seguir serão analisadas algumas monografias voltadas para essas melhorias.

Wenzel (2007), realizou um experimento prático voltado para as pás de turbinas eólicas de eixo horizontal, a partir da seleção de um perfil aerodinâmico e suas propriedades conhecidas, o mesmo utilizou uma turbina eólica de pequeno porte para a aplicação mostrada na Figura 7, os dados coletados durante o teste foram: a velocidade do vento, potência de saída da turbina, pressão atmosférica, rotação da turbina e temperatura ambiente. Observou-se que a partir do modelo de pá gerado para essa prática foram calculadas de forma iterativa as forças atuantes em cada elemento da pá, havendo contribuições positivas nas características de torque e potência do rotor eólico.

Figura 7 -Montagem da turbina para teste.



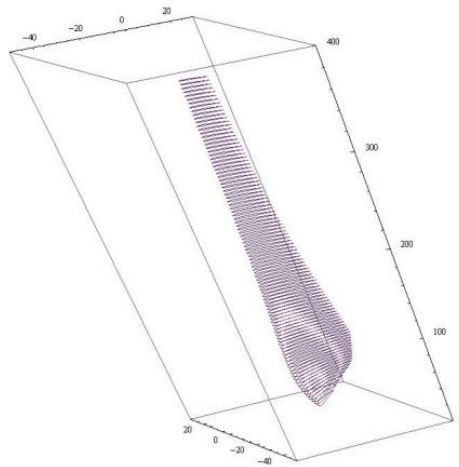
Fonte: Wenzel (2007).

Silva (2013) estudou o dimensionamento do rotor de turbinas eólicas de eixo horizontal, tendo conhecidas as propriedades do ar, velocidade do vento, potência nominal, através do software Mathematica 7.0. Também foram realizados testes no programa ANSYS ICEM, e a partir das coordenadas, foi gerada a geometria de uma pá. Os exemplos foram feitos para turbinas de pequeno e grande porte classificadas como A, B e C, com objetivo de mostrar que os modelos de pás projetados pelo programa são eficientes para os aerogeradores aumentem ainda mais a produção de eletricidade.

A autora traz nas figuras a seguir uma análise visual das cascatas e das pás de três tipos de turbinas, sendo uma delas de pequeno porte e grande porte com perfil do tipo NACA, que se trata de um tipo de perfil aerodinâmico usado em asas de aeronaves, ele foi desenvolvido pelo *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) possuindo um formato específico para otimizar o desempenho aerodinâmico. E outra turbina de grande porte com perfil NREL, sendo um outro tipo de perfil usado em turbinas eólicas, foi desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) a mesma é projetada para maximizar a eficiência da captura de energia do vento.

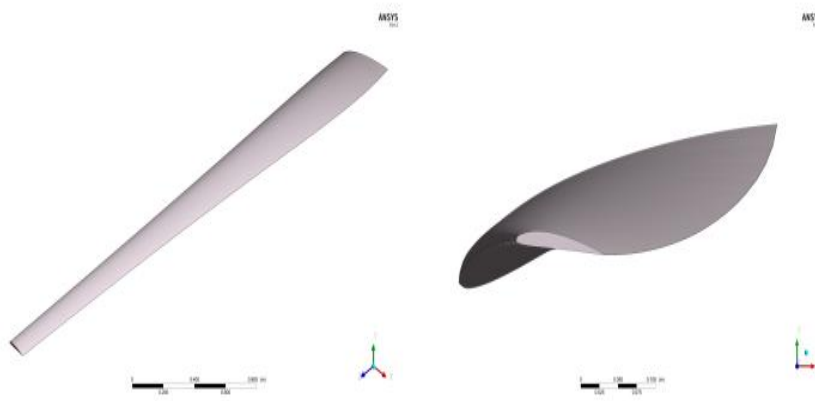
A Turbina A tem 10 kW de Potência, com condições de ventos do Nordeste com os cálculos das propriedades citadas anteriormente, foi projetada a cascata da pá conforme na Figura 8. Logo em seguida, na Figura 9 é mostrada a sua vista isométrica e superior.

Figura 8 - Cascata de aerofólio 3-D da turbina de pequeno porte A.



Fonte: Silva (2013).

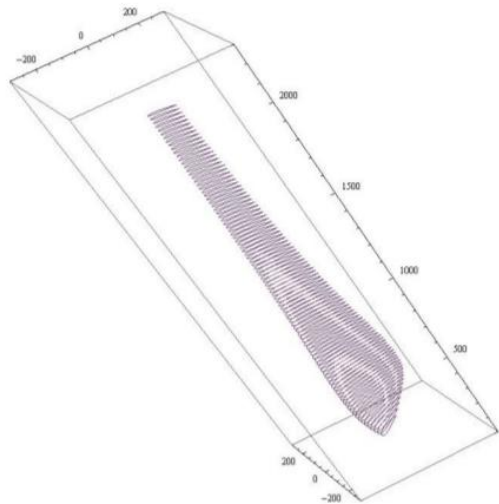
Figura 9 - Vistas isométrica e superior da pá gerada para a turbina de pequeno porte A.



Fonte: Silva (2013).

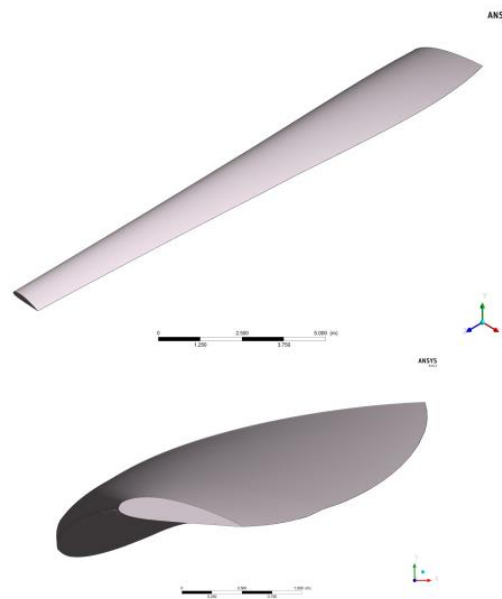
A Turbina B tem 5 MW de Potência com condições de vento dos Estados Unidos e Europa, com os cálculos das propriedades citadas anteriormente, foi projetada a cascata da pá conforme na Figura 10. Logo em seguida, na Figura 11 é mostrada a sua vista isométrica e superior.

Figura 10 - Cascata de aerofólios 3-D da Turbina de grande porte B.



Fonte: Silva (2013).

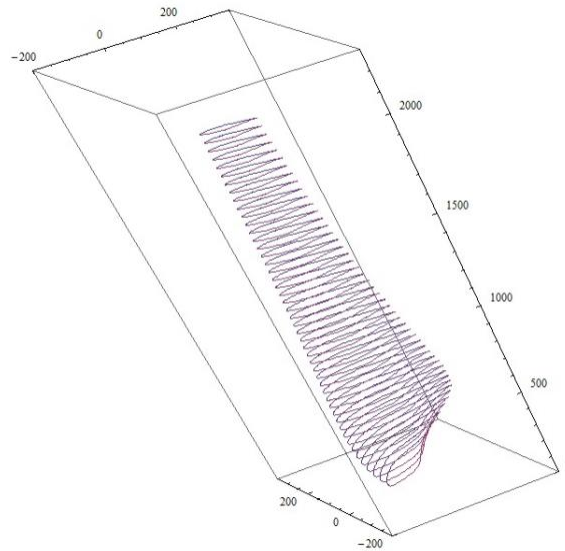
Figura 11 - Vistas isométrica e superior da pá gerada para a Turbina B de grande porte.



Fonte: Silva (2013).

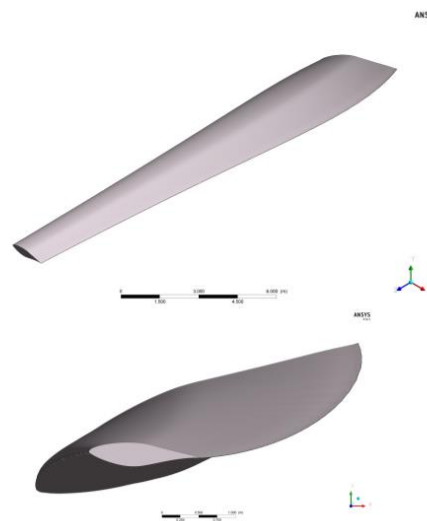
A Turbina C do tipo NREL tem 5 MW de Potência com do exemplo B, com os cálculos das propriedades citadas anteriormente, foi projetada a cascata da pá conforme na Figura 12. Logo em seguida, na Figura 13 é mostrada a sua vista isométrica e superior.

Figura 12 - Cascata de aerofólios 3-D para a Turbina C de grande porte.



Fonte: Silva (2013).

Figura 13 - Vistas isométrica e superior da pá gerada para a Turbina C de grande porte.



Fonte: Silva (2013).

SILVA (2013) observou que nos exemplos de turbinas A e B, os resultados obtidos no programa nas propriedades de diâmetro e altura são condizentes com a literatura, possuindo eficiência no desempenho das pás, já a turbina C, não houve como comparar, pois os dados são mantidos em segredo pelos fabricantes, sendo assim, não se pode realizar comparações.

CLEMENTE E JUNIOR (2020) estudaram a eficiência energética de turbina eólica através de um gerador de vento, analisando a geometria das pás, seu posicionamento e outros componentes. Para isso, foram realizadas medições de tensões e correntes geradas por ventos alternados, em seguida foi feita a leitura das velocidades de entrada e saída das pás com o

objetivo de determinar a potência elétrica aproveitada na turbina de acordo com os testes realizados. A turbina de eixo horizontal analisada composta por seis pás conforme mostra a Figura 14.

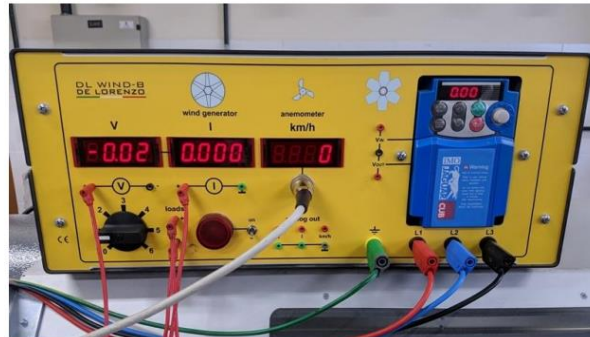
Figura 14- Turbina de eixo horizontal.



Fonte: DE LORENZO.

Na Figura 15, localizado ao lado do túnel estava a fonte de alimentação com painel eletrônico para leitura dos dados, e um anemômetro para medir a velocidade do vento.

Figura 15- Fonte de alimentação com painel eletrônico para leitura dos valores obtidos.



Fonte: CLEMENTE E JUNIOR (2020).

Na Figura 16, é mostrado o modelo de anemômetro utilizado para realizar a medição final do vento.

Figura 16 - Anemômetro modelo TAN 050.



Fonte: Incoterm.

Os autores realizaram as medições obtendo os resultados mostrados na Figura 17.

Figura 17 – Medições para a realização dos cálculos.

Frequência (Hz)	Tensão (V)	Corrente (A)	Vel. de entrada (m/s)	Vel. de saída (m/s)
15,0	6,16	0,063	3,06	1,50
17,5	7,88	0,081	3,61	1,81
20,0	9,70	0,101	4,17	2,00
22,5	11,48	0,119	4,72	2,28
25,0	13,11	0,137	5,28	2,53
27,5	13,62	0,142	6,11	2,86
30,0	13,63	0,142	6,39	3,06
32,5	13,27	0,139	6,94	3,31
35,0	13,07	0,136	7,50	3,56
37,5	12,73	0,134	8,06	3,83
40,0	12,69	0,132	8,33	4,08
42,5	12,62	0,130	9,17	4,39
45,0	12,55	0,128	9,72	4,92
47,5	12,40	0,125	10,00	5,42
50,0	12,27	0,126	10,83	5,83

Fonte: Os autores.

A partir dos dados acima, foram calculados os valores de potências disponível e extraída para cada velocidade de entrada do vento conforme a Figura 18.

Figura 18- Potências disponível e extraídas.

Vel. de entrada (m/s)	Potência disponível (W)	Potência extraída (W)
3,06	2,5711	0,3881
3,61	4,1912	0,6383
4,17	6,5479	0,9797
4,72	9,4767	1,3661
5,28	13,2955	1,7961
6,11	20,7271	1,9340
6,39	23,5710	1,9355
6,94	30,2291	1,8445
7,50	38,2012	1,7775
8,06	47,3996	1,7058
8,33	51,8804	1,6751
9,17	69,6655	1,6406
9,72	81,5444	1,6064
10,00	86,3187	1,5500
10,83	109,9994	1,5460

Fonte: Os autores.

Os autores observaram que a turbina eólica obteve eficiência máxima em torno de 15~16%, atuando em uma velocidade de vento baixa, ou seja, com velocidades baixas as mesmas são capazes de produzir mais energia, porém em uma escala menor. Portanto, os valores obtidos anteriormente podem servir para comparações em sistemas das turbinas de grande porte para conversão de energia.

Queiroz (2021) realizou um levantamento da literatura, observando acerca da modelagem de turbinas eólicas, como esteira turbulenta e interação fluido-estrutura, a

otimização de design das pás, e o estol dinâmico e controle das turbinas. E observou-se que a Fluidodinâmica Computacional (CFD) auxiliou na compreensão desses fenômenos. Concluindo que, o software Computational Fluid Dynamics (CFD) possui um aspecto relevante aos objetivos do trabalho estudado em questão.

COSTA (2022) analisou através de pesquisas bibliográficas, um estudo sobre material e métodos para o sistema de pás dos aerogeradores eólicos, buscando compreender o dimensionamento e fabricação das pás nas turbinas de eixo horizontal, analisando suas características e complexidades e utilizando de métodos e técnicas que vão desde o seu projeto inicial até a fabricação e montagem. O autor observou que os métodos e teorias como a teoria do elemento de pá e limite de Beltz ainda são os principais métodos aplicados no projeto de dimensionamento das pás. E quanto à sua fabricação, as técnicas de confecção estão em constante evolução como por exemplo, a utilização de novos materiais. O autor retrata também que a escolha do local para a aplicação dos aerogeradores é um fator crucial para determinar o dimensionamento e performance desses equipamentos, por isso, é importante o estudo quanto a intensidade dos ventos para que as pás alcancem as características desejadas.

De maneira geral, foi analisado que os programas de CFD (Computational Fluid Dynamics) e outros semelhantes podem melhorar modelos de correção para os métodos numéricos, com o intuito de diminuir o custo computacional para tais análises e também experimentos práticos com turbinas de pequeno porte, visando compreender e trazer soluções para o desempenho das turbinas eólicas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora as turbinas eólicas ainda enfrentem desafios em relação à eficiência, o progresso contínuo nas pesquisas e no desenvolvimento tecnológico tem sido promissores.

O artigo atingiu o objetivo proposto de compreender o funcionamento das turbinas e como estas podem aumentar uma produção maior de energia.

Os trabalhos recentes de CLEMENTE E JUNIOR (2020) e Queiroz (2021), mostram o uso da energia de forma mais eficiente através de práticas com turbinas experimentais e estudos quanto ao aprimoramento do design das pás, utilizando aerofólios mais modernos, sendo capazes de melhorar o sistema de controle das turbinas e ajuste da velocidade do vento para garantir o bom funcionamento dos componentes. Ainda é necessário realizar testes em turbinas de grande porte para obter o resultado esperado.

É importante ressaltar que para uma melhor análise e obtenção de dados precisos, aconselha-se o uso de programas computacionais como o Dinâmica dos Fluidos Computacional (CDF) para realizar testes de aerodinâmica nas turbinas.

Apesar dos resultados positivos em forma de projetos, ainda é necessário a realização de mais testes práticos para analisar a influência do vento e seus componentes nas turbinas eólicas de grande porte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. A.; MOURA, G. J. B. de. A Literatura Científica sobre os impactos causados pela instalação de Parques Eólicos: Análise Cienciométrica. R. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 13, n. 28, p. 207-223, mai./ago. 2017. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/3674/3643>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BARBOSA, Milton de Almeida. **Tecnologia e fontes alternativas de energia**. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 13 out. 2023.

CLEMENTE, C. G.; JUNIOR, S. J. L. Cálculo da eficiência energética de turbina eólica de eixo horizontal em túnel de vento com aerogerador. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 10, nº 3, 26 out. 2020. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/15153>. Acesso em: 14 out. 23.

COSTA, C. C. H. Dimensionamento e fabricação de Pás de torres eólicas (TEEH). **Artigo Científico**. Apresentado a UNIFG/ Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/24137>. Acesso em: 13 out. 2023

DA SILVA, B. A. Projeto Aerodinâmico de Turbinas Eólicas. **Trabalho de Conclusão de Curso** Apresentado a UFRJ/ Escola Politécnica, 2013. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/9023/1/monopoli10005359.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.

DE QUEIROZ, M.H.E. Turbinas Eólicas: Evolução da análise aerodinâmica e desafios encontrados. **Trabalho de Conclusão de Curso** Apresentado Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC, da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33494/1/TurbinasE%C3%B3licasEvolu%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023.

GIL, A. C. (2002) Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª. ed. São Paulo: Atlas S/A.

NASCIMENTO, T. C.; MENDONÇA, A. T. B. B.; CUNHA S. K. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. *Cad. EBAPE.BR*, v. 10, nº 3, artigo 9, Rio de Janeiro, set. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cebape/a/QMWwLZbx6pFdDT9DP8NWkZh/?lang=pt>. Acesso em: 02 jul. 23.

PEREIRA, M. Impacto da altura de aerogerador sobre a velocidade do vento, energia, efeito esteira e intensidade de turbulência. **Programa de Pós-Graduação**. Apresentado a UFRS, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/134892/000988356.pdf?sequence=1>. Acesso em 13 out. 2023.

PINTO, Milton. Fundamentos de Energia Eólica. [Rio de Janeiro]: Grupo GEN, 2012. *E-book*. ISBN 978-85-216-2193-5. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2193-5/>. Acesso em: 20 jul. 2023.

OLIVEIRA, F. V. M. Projeto de um aerogerador de baixa escala com intensificador de potência. 2019. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/42968>. Acesso em: 13 out. 2023.

PIPE, Jim. **Energia eólica**. 1. ed. São Paulo: Callis, 2016. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 18 out. 2023.

Reportagem: Expansão de eólicas ameaça comunidades e Caatinga no semiárido do Rio Grande do Norte. Pública. 29 jul. 2023. Disponível em: <https://apublica.org/2023/07/expansao-de-eolicas-ameaca-comunidades-e-caatinga-no-semiarido-do-rio-grande-do-norte/>. Acesso em: 30 ago. 2023.

WENZEL, G. M. Projeto aerodinâmico de pás de turbinas eólicas de eixo horizontal. **Revista da Graduação**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2008. Disponível em: <https://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/3490>. Acesso em: 20 ago. 2023.