

ESTUDO DA TURBINA EÓLICA CONVENCIONAL E COM LEVITAÇÃO MAGNÉTICA

Roberto Coelho Rocha Filho¹, Zoroastro Torres Vilar², Ingrid Heloisa da Silva Alves³

Resumo: As turbinas eólicas já são um meio de produção de energia renovável bastante utilizada no mundo, mas devido a baixa produtividade comparada as outras fontes, é bastante questionada. As turbinas convencionais são basicamente classificados em dois modelos, os mais utilizadas são as turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH) e as turbinas de eixo vertical (TEEV). Porém, com a nova tecnologia que utiliza magnetismo pode-se esperar uma grande evolução neste ramo de fonte de energia renovável, porque esta tecnologia traz tantas vantagens que torna viável uma utilização em grande escala desta fonte de energia. Esse trabalho tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre turbinas eólicas, ressaltando o histórico destas turbinas bem como sobre seus modelos de eixo vertical (TEEV) e horizontal (TEEH), apresentado também conceitos de um projeto muito promissor que é a utilização de magnetismo para melhoria destas máquinas, fazendo com que ocorra o surgimento de projetos mais eficientes e rentáveis, concluindo que esta tecnologia pode ser de alto rendimento no futuro, mas ainda se tem a necessidade de estudos sobre esta tecnologia.

Palavras-chave: MagLev; TEEV; Geração de energia.

1. INTRODUÇÃO

Turbina eólica, ou aerogerador, é uma máquina que utiliza a potência cinética que os ventos convertendo-as em potência mecânica de eixo, na qual é convertida em energia elétrica por um gerador. Este ramo de utilização de ventos para a produção de energia renovável vem crescendo nos últimos anos, principalmente no Brasil, já que o país tem um grande potencial eólico [1]. Porém, como a geração de energia através de turbinas eólicas é menor comparada a outras fontes, como a solar, hidráulica e biomassa, esse setor recebe muitas críticas [2].

Existem duas classificações de turbinas eólicas, as Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal (TEEH) e as Turbinas Eólicas de Eixo Vertical (TEEV) como mostrado na Figura 1. As TEEH são mais utilizadas comercialmente. Sua altura tem bastante importância pois seu rotor de tipo hélice precisa ficar elevado acima da camada limite para obter um escoamento de corrente laminar, ou seja, uma corrente com uma direção mais constante possível. O diâmetro do rotor também tem importância, já que a potência da turbina depende da sua área. Como estas turbinas precisam de um terreno de muito espaço e com poucas construções para serem eficientes, as áreas de aplicação das mesmas acabam ficando limitadas [3].

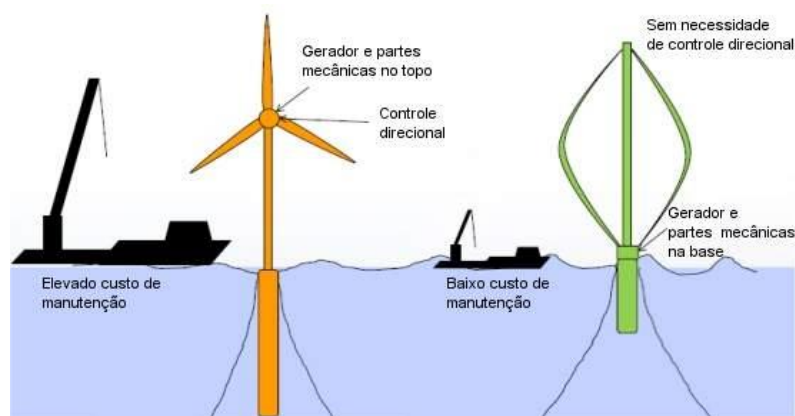


Figura 1 – TEEH e TEEV [5]

As TEEV são formadas por uma superfície vertical em forma de S com rotação em volta de um eixo. Contém componentes parecidos com as turbinas horizontais, mas a manutenção das turbinas verticais é mais simples, pois a sua caixa multiplicadora e o gerador se encontram em sua base. Porém, a análise dinâmica deste tipo de turbina é mais complicada, já que ela opera em correntes de ventos mais turbulentos, podendo assim, apresentar

problemas com estabilidade. Devido as TEEV convencionais serem menos produtivas do que as TEEH, as mesmas são menos utilizadas [3].

Uma empresa chinesa, chamada Zhongke Hengyuan Energy Technology, desde 2007 tem trabalhado no protótipo de uma turbina TEEV utilizando a tecnologia de levitação magnética com intuito de reduzir as perdas de atrito. Esta empresa investiu 60 milhões de dólares na construção de uma instalação que produza estas turbinas que utilizam levitação magnética (MagLev). As turbinas produzidas têm capacidade de gerar 400-5000 kW. As pás da turbina são suspensas em um colchão de ar, fazendo com que a geração de energia aumente por causa da redução das perdas de atrito, além de outras vantagens, como a redução nos custos de manutenção e o aumento da vida útil [4].

Por estas razões, este trabalho tem como objetivo um estudo mais aprofundado das turbinas que utilizam levitação magnética como também as turbinas convencionais, para entendimento de suas vantagens e desvantagens, conhecer o funcionamento do mesmo. Saber qual a relevância dos sentidos das pás, sempre fazendo um comparativo com as turbinas eólicas convencionais para saber o porque da produtividade ser diferente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será abordado sobre o histórico das turbinas eólicas, funcionamento de turbinas eólicas horizontais e verticais, além de um detalhamento de turbinas eólicas que utilizam levitação magnética, mencionando suas vantagens e desvantagens.

2.1 Histórico das Turbinas Eólicas

Com o avanço da rede elétrica, foram feitos, no início do século XX, várias pesquisas para utilizar os ventos (que eram bastante utilizados nos moinhos das fazendas para bombear, esforços mecânicos, entre outras utilizações) para produção de energia, sendo assim foi pensado em se projetar máquinas que convertessem essa energia mecânica que os ventos tinham capacidade de fornecer, em energia elétrica, sendo estas máquinas chamadas de aerogeradores. Enquanto os Estados Unidos utilizavam aerogeradores de pequeno porte, a Rússia já investia na conexão de aerogeradores de médio e grande porte diretamente na rede elétrica [5].

Em 1888, foi construído o primeiro aerogerador de pequeno porte, que tinha a capacidade de gerar 12 kW de potência, construído por Charles F. Bruch na cidade de Cleveland, Ohio, esta turbina tinha a função de carregar baterias que seriam posteriormente utilizadas em lâmpadas incandescentes. Neste primeiro aerogerador na roda principal tinham-se 144 pás e 17 metros de diâmetro, uma torre de 18 metros de altura e um tubo metálico central de 36 cm de diâmetro, este aerogerador esteve em funcionamento durante 20 anos até ser desativado, e foi um marco na utilização destas máquinas [5] (Figura 2).

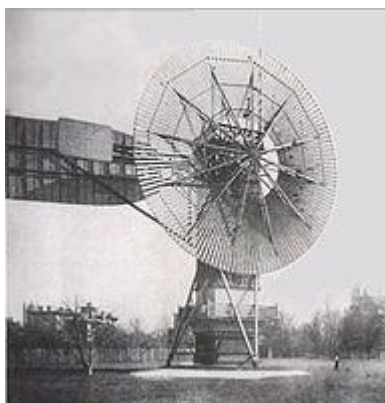


Figura 2: Primeiro Aerogerador [5]

Só a partir de 1931 na Rússia que surgiu o desenvolvimento de aerogeradores de grande porte com a construção do aerogerador Balaclava (Figura 3), que era um modelo que produzia 100kW que era conectado por uma linha de transmissão de 6,3kV de 30km, a uma usina termelétrica, e foi a primeira turbina de corrente alternada bem sucedida ao ser conectada a uma usina termelétrica [5].



Figura 3: Aerogerador Balaclava [5]

A construção deste modelo de aerogerador abriu a porta para outros projetos maiores, que produziam de 1MW a 5MW. Porém, muitos destes projetos chegaram a ser abandonados por causa da concorrência com a tecnologia que utilizava combustíveis fósseis, que por ser mais acessível obtinha uma maior produção de energia [5].

Em 1939 até 1945, durante a Segunda Guerra Mundial, ocorreu um grande desenvolvimento dos aerogeradores de médio e grande porte, pois os países envolvidos tinham interesse em economizar os combustíveis fósseis. Os Estados Unidos projetaram o aerogerador de corrente alternada Smith-Putnam (Figura 4), que produzia 1250kW para a rede elétrica local. Foi o maior aerogerador construído naquela época, chegando a ter 33,5 metros de altura, 53,3 metros de diâmetro e conter duas pás de aço com 16 toneladas [5].



Figura 4: Aerogerador Smith-Putnam [5]

Após a Segunda Guerra Mundial, houve novamente a diminuição no interesse da utilização da energia proveniente das turbinas eólicas. Aqueles projetos que não eram abandonados eram utilizados apenas para pesquisa.

O comércio de turbinas eólicas teve um aumento no seu desenvolvimento a partir do ano de 1985. Mostra-se, na Figura 5, a mudança tanto dos tamanhos das turbinas quanto da energia produzida pelas mesmas durante o período de tempo de 15 anos [5]. Tem-se em vista que o aumento do diâmetro e consequentemente o aumento da estrutura da turbina, em geral, tem aumentado consideravelmente a potência fornecida por elas.

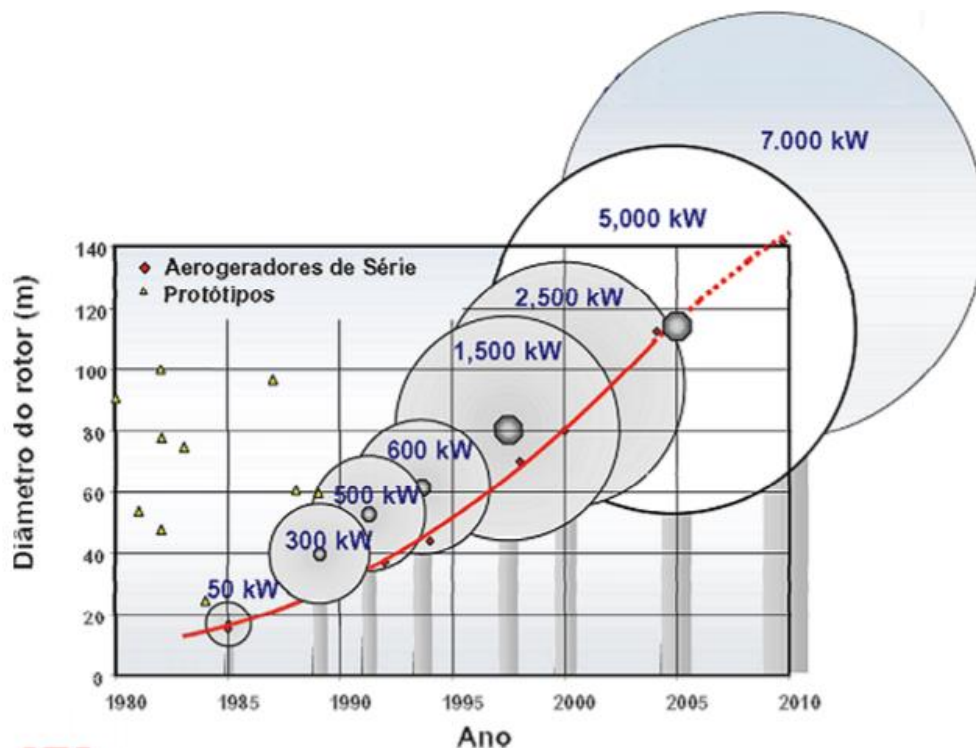


Figura 5: Evolução das turbinas eólicas entre 1985 e 2005 [5]

As turbinas eólicas de eixo vertical surgiram em 1924, na Finlândia. Esta turbina era do tipo Savonius e tinha objetivo de moer grãos e ser utilizadas para bombeamento de água. Outro tipo de turbina vertical, a Darrieus, originou-se na França em meados de 1927, e diferentemente das turbinas horizontais, sua estrutura permitia utilizar componentes mais pesados na base de sua torre, deixando a turbina mais leve e não necessitada modificar a direção do rotor. Porém, as diferentes cargas recebidas causadas pelas diferentes velocidades de vento prejudicaram sua eficiência. Mais detalhes sobre esses tipos de turbina será abordado no subtópico 2.3 [6].

2.2 Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal

As turbinas de eixo horizontal são amplamente utilizados, já que tem um maior rendimento aerodinâmico e estão expostos a menores esforços mecânicos do que as turbinas de eixo vertical. Existem duas categorias, ilustradas na Figura 6, deste tipo de aerogerador [5]:

- **UPWIND:** Os ventos sopram pela parte da frente das pás, onde sua estrutura é rígida e o rotor é direcionado segundo a direção do vento através de mecanismo motor.
- **DOWNWIND:** Os ventos sopram pela parte de trás das pás, o rotor é flexível e auto-orientável.

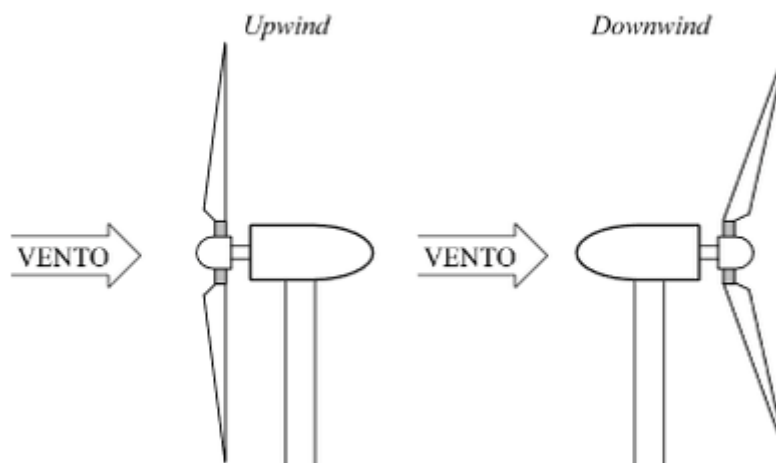


Figura 6: Representação de turbinas horizontais UPWIND e DOWNWIND [5]

Nessas turbinas, as forças de sustentação dos ventos fazem as pás se movimentarem e parte da energia cinética produzida por este movimento é transferida para as pás do rotor, se tornando energia rotacional das pás. Com este movimento, o eixo que está acoplado as pás gira junto a elas, e esta energia rotacional do eixo é transformada em energia elétrica pelo gerador. Quando ocorre absorção de energia cinética, ocorre uma redução na velocidade do vento a jusante do disco do rotor de forma gradual e essa velocidade recupera-se ao misturar-se com as massas de ar predominantes do escoamento livre. Da força de sustentação aerodinâmica nas pás do rotor resulta uma esteira helicoidal de vórtices, a qual também gradualmente dissipa-se. Após alguma distância a jusante da turbina, o escoamento recupera as condições de velocidade originais e algumas turbinas adicionais podem ser instaladas, diminuindo as perdas de desempenho causadas pela interferência de turbinas anteriores. Na prática essa distância pode ser alterada por vários fatores como, velocidade do vento, condições de operação da turbina, rugosidade do terreno e a condição de estabilidade térmica vertical da atmosfera [5].

Um grande problema das turbinas eólicas de eixo horizontal é a necessidade constante de se medir a velocidade do vento para decidir se ele deve ser mantido em operação, pois se a velocidade do vento é baixa a turbina irá ter mais gastos do que energia produzida, fazendo com que seja mais viável que fique sem funcionamento nestes momentos, como também, é viável nos momentos em que o vento é muito forte, para não danificar o seu mecanismo [5]. Na Figura 7 mostram-se as partes essenciais para uma turbina eólica de eixo horizontal.

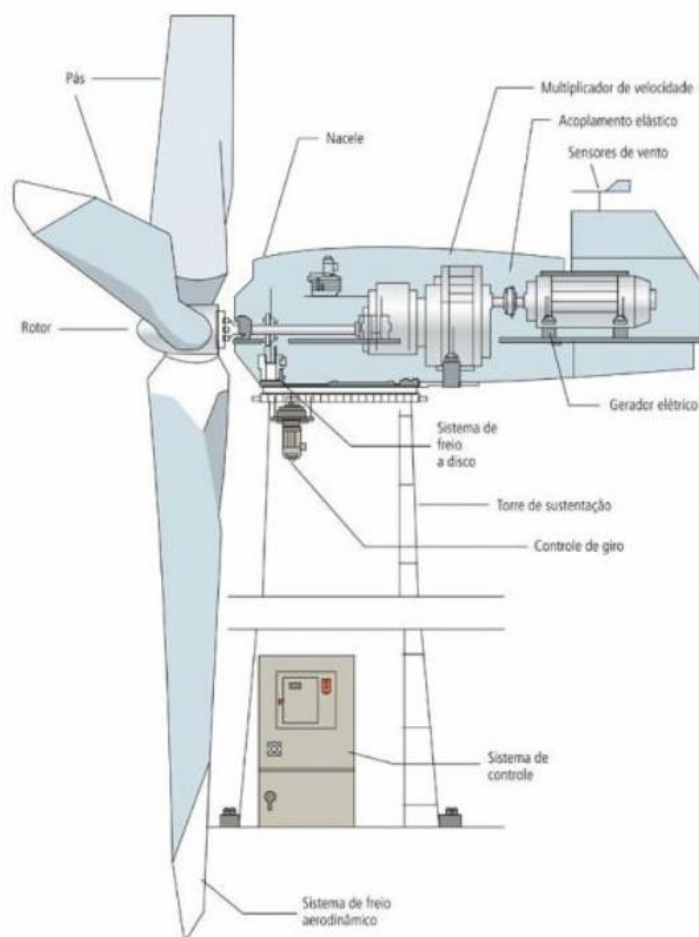


Figura 7: Representação das partes de uma turbina de eixo horizontal [5]

Funcionalidade de cada componente [5]:

- Pás do rotor: capturam energia produzida pelos ventos e converter em energia de rotação no eixo;
- Eixo: transfere a energia de rotação para o gerador;
- Nacele: carcaça onde são abrigados os componentes;
- Gerador: converte energia de eixo em energia elétrica;

- Controlador: alinha o rotor na direção do vento.
- Freios: em caso de falha do sistema ou sobrecarga de energia, interrompe a rotação do eixo;
- Torre: sustenta o rotor e a nacelle, além de erguer todo o conjunto a uma altura onde as pás possam girar com segurança e distantes do solo;
- Equipamentos elétricos: transmitem a eletricidade do gerador pela torre e controlam os elementos de segurança da turbina.
- Unidade de controle eletrônico: para monitoramento do sistema, realiza o desligamento da turbina em caso de falha e ajuda no mecanismo de realinhamento da turbina com o vento;
- Caixa de engrenagem: aumenta a velocidade de rotação do eixo para o gerador;

2.3 Turbinas de Eixo Vertical

Os aerogeradores de eixo vertical têm uma diferença vantajosa comparado as TEEH, pois não necessitam de mecanismos que variem seu eixo na direção dos ventos, sendo assim as TEEV são mais indicados onde os ventos tem um comportamento mais turbulento.

As TEEV, diferentemente das TEEH, não contêm um modelo bem definido ou padrão, portanto uma turbina vertical quando projetada precisa de uma certa inovação por parte dos pesquisadores e empreendedores, mas estas inovações sempre partem de dois tipos de TEEV: Darrieus e Savonius [7].

A turbina do tipo Darrieus foi construída na França em 1927 por George J. M. Darrieus. Seu funcionamento se baseia na força de sustentação e suas principais vantagens são que o gerador e a caixa de engrenagem são colocados no solo. Seu rotor baseia-se em duas ou três pás curvadas e sua força motriz é a de sustentação aerodinâmica exercida nas pás. Uma das desvantagens deste modelo é que o vento aumenta sua velocidade consideravelmente de acordo com a altura da torre, sendo assim a turbina deve suportar diferentes esforços ao longo do seu eixo, criando uma dificuldade em manter a torre perfeitamente vertical em grandes alturas. Devido a sua alta velocidade e ao seu baixo torque é preciso de um sistema para ajudar na partida da turbina [8]. Na Figura 8 demonstra-se uma turbina eólica vertical de tipo Darrieus e suas componentes.

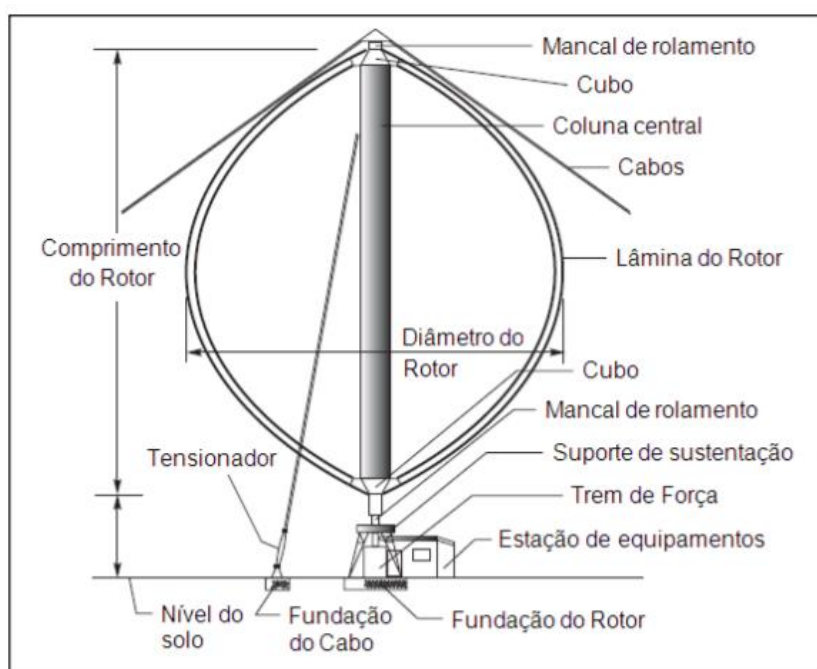


Figura 8: TEEV do tipo Darrieus [6]

A turbina do tipo Savonius originou-se em 1924 na Finlândia por Sigur J. Savonius, que o funcionamento do rotor baseia-se na força de arrasto, o seu rotor baseia-se de duas ou mais conchas no lugar de pás. Por causa de seu rotor simples, a fabricação destas turbinas as tornam mais econômicas, e os esforços na sua estrutura são menores do que nas turbinas de tipo Darrieus. Porém, as TEEV tipo Savonius tem um rendimento energético menor que a Darrieus [9]. Na Figura 9 a seguir está uma turbina eólica vertical do tipo Savonius sendo o rotor composto por duas conchas.



Figura 9: TEEV do tipo Savonius de duas conchas [6]

De modo geral, as componentes de uma turbina eólica de eixo vertical são [6]:

- Rotor: Converte energia eólica do vento em energia mecânica de eixos;
- Torre: Para suportar o rotor;
- Caixa de Câmbio: Ajustar a velocidade de rotação do eixo do rotor do gerador elétrico;
- Sistema de Controle: Para observar a operação da turbina eólica de um modo automático, inclusive o seu acionamento e desligamento;
- Fundação: Para manter firme a turbina em caso de ventos mais fortes;

2.4. Funcionamento de Turbina Eólica com Levitação Magnética

Com a utilização de suas pás orientadas verticalmente esta configuração permite com que os seus principais dispositivos possam ficar no solo, ficando assim suspensas no ar por causa da utilização de ímãs, elas ficam acima da base do maquinário, sendo assim, podem substituir qualquer tipo de rolamento de esfera, e por utilizar ímãs não requer eletricidade para funcionar, nesse sistema de ímãs é utilizado ímãs de neodímio, não ocorrendo perda por fricção, portanto, esses ímãs permanentes de neodímio diminuem os custos na manutenção e dispensa a utilização de lubrificantes, e a falta de contato com as pás no rotor fazem com que não tenha atrito, aumentando o rendimento da turbina, o funcionamento destas turbinas são idênticos ao funcionamento das TEEV, já que o aumento do seu rendimento já se dá pela diminuição das perdas geradas na produção de energia.

Estes tipos de turbina originam-se na China (Figura 10) em 2007, construído pela empresa Zhongke Hengyuan Energy Technology, que investiu nestes tipos de turbina com o propósito de criar uma opção de geração de energia limpa que pudesse substituir a utilização de combustíveis fósseis nessa função em um nível equivalente. Mesmo sendo uma tecnologia recente, já se tem turbinas eólicas de levitação magnética mantidas em funcionamento constante na China [4], uma empresa estadunidense chamada MagLev Wind Turbine Technologies, também começou a criar projetos destas turbinas no Arizona.



Figura 10- Ilustração da MagLev de 5 kW [4]

A Tabela 1 faz uma comparativa das turbinas eólicas convencionais e turbinas que utilizam levitação magnética.

CONVENCIONAL	MagLev
Vida útil de 20 anos	Vida útil de até 500 anos
Gera ruídos	Tecnologia silenciosa
Utilizam rolamento em esfera	Utilizam ímãs
Tecnologia antiga	Tecnologia recente
Mecanismo mais padronizado	Ainda sendo estudado
Pode produzir até 9MW	Pode produzir até 1GW
Construção mais simples	Construção mais complexa

Tabela 1 – Comparativa de turbina eólica convencional e com levitação magnética [4] e [5]

As turbinas MagLev têm muitas vantagens. Pelo motivo de praticamente não ter atrito algum no seu mecanismo, as turbinas são bem mais eficientes, em consequência, gera mais energia e têm uma vida útil bem mais considerável e não necessitam de uma manutenção periódica. Conseguem operar em velocidades mais variadas de vento (entre velocidades de 1,5 m/s a 40 m/s), seu material é mais barato pelos ímãs serem de menor preço que os rolamentos em esfera. Por utilizar o modelo de turbina de eixo vertical, elas podem ser de pequeno porte, podendo ser utilizadas até mesmo na parte superior de prédios além de não produzir ruídos. Como a sua tecnologia é muito recente, estes tipos de turbina ainda não atingiram a maturidade, tornando-se assim uma desvantagem [4].

3. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho foi capaz de proporcionar um conhecimento sobre turbinas eólicas convencionais e que utilizam levitação magnética, já que estes meios de produção de energia são limpos, serão os meios de produção de energia do futuro. Mas, pelo pouco desenvolvimento das turbinas com levitação magnética, não se é comumente obtido um detalhamento do funcionamento destas turbinas, mas pelas comparações é possível ver um maior aproveitamento nas turbinas com levitação magnética, sendo assim, deve ser estudado e aprimorado para melhor aproveitamento dos sistemas destas turbinas, e como a utilização da tecnologia magnética deu uma impulsionada em vários fatores que são ditos como desvantagens deste meio de produção de energia, torna possível que futuramente seja viável a substituição de fontes de energia fósseis para fonte de energia eólica.

4. TRABALHOS FUTUROS

Como possível trabalho futuro, pode-se ter uma análise mais aprofundada no funcionamento de uma turbina eólica que utiliza levitação magnética, construindo um protótipo de uma turbina eólica de eixo vertical e aplicar em seu sistema engrenagens magnéticas, e testar a viabilidade em locais mais urbanizados e a qualidade deste maquinário produzido.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Marcio Giannini; DUTRA, Ricardo Marques; GUEDES, Vanessa Gonçalves. Estudo prospectivo do mercado de energia eólica de pequeno porte no Brasil. **Brazil Windpower, Rio de Janeiro**, 2013.
- [2] DUPONT, F.H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental, Santa Maria**, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70 – 81, 2015.
- [3] DA SILVA, Amanda Briggs. Projeto Aerodinâmico de Turbinas Eólicas. **Projeto de Graduação UFRJ/Escola Politécnica**, Rio de Janeiro, 2013.
- [4] TEIXEIRA, Daniel Pinheiro; NOLASCO, Josimar Ribeiro; DE OLIVEIRA, Ângelo Rocha; JUNIOR, Lindolpho Oliveira de Araújo; CARMO, Marlon José; RIBEIRO, Paulo Fernando. Uma análise econômica compromissada com o futuro da energia eólica. **Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**, Minas Gerais, 2010.
- [5] BRITO, Sérgio de Salvo. Energia eólica: princípios e tecnologias. **Centro de referência para energia solar e eólica**, 2008.
- [6] PURIFICAÇÃO, Luerles Silva da; FONTE, Rodrigo Borges Della. Estudo de turbinas eólicas verticais com exemplo de dimensionamento de uma turbina eólica Darrieus para aplicação em edifícios. 2012. 102p. **Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Espírito Santo**, Vitória, 2012.
- [7] MENDES, N. E. C; GUTEMBERGY, F. D. Aplicação de engrenagem magnética em protótipo de aerogerador eólico de eixo vertical. **Trabalho de conclusão de curso**, Mossoró, 2017. 12p.
- [8] MARQUES, J. Turbinas eólicas: modelo, análise e controle do gerador de indução com dupla alimentação. 2004.132f. **Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria**.
- [9] MOLARINHO CARMO, D. M. F. G. Projeto de uma turbina eólica de eixo vertical para aplicação em meio urbano. 2012. **Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa**.