

TURBINA EÓLICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE EXAUSTÃO DE PÓ

Eduardo Farias¹, du_fanuel@hotmail.com

Juliano de Paulo Pereira¹, julianoibt@hotmail.com

Ronaldo Alves da Silva¹, ronaldogersanti@gmail.com

Valdoel da Silva Júnior², valdoel2@hotmail.com

Luís Manoel de Paiva Souza³, luismanoel_tap@hotmail.com

¹Formandos em Engenharia Mecânica UNIFEG..

²Prof. Esp. Depto. de Engenharia Mecânica UNIFEG.

³Prof.Dr.-Depto de Engenharia UNIFEG-UNIP-FATEC.

Resumo: Em vários seguimentos de indústrias no Brasil e no mundo existem sistemas que fazem a captação de pó e particulados, gerados durante o processo industrial, para manter o produto trabalhado e o ambiente de trabalho mais limpo. Estes equipamentos, possuem ventiladores que sugam o ar contaminado com pó e partículas, passa-o por um sistema de filtro e libera uma grande quantidade deste ar já limpo no ambiente externo, que pode ser considerado como uma energia desperdiçada, diante disto, surgiu a necessidade de se desenvolver uma turbina eólica com o objetivo de aproveitar este ar para a geração de energia de forma sustentável. Algumas indústrias possuem vários destes sistemas instalados em suas unidades industriais, o que possibilitará a instalação de várias destas turbinas que poderão gerar uma grande quantidade de energia e promover uma redução de custo considerável para as empresas. A metodologia utilizada ocorreu através de pesquisas sobre artigos relacionados a geradores de energia eólica convencionais, pois, apesar de a turbina eólica proposta neste trabalho estar sendo desenvolvida para ser instalada dentro de um tubo enclausurado, os métodos utilizados no desenvolvimento são basicamente os mesmos. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados três conceitos referenciados em artigos pesquisados que normalmente são utilizados para se calcular e dimensionar todos os tipos de sistemas de geração de energia eólica, o primeiro deles é o Conceito do Disco Atuador, o segundo conceito é o Limite de Betz e o terceiro é o conceito da Teoria do Elemento da Pá ou Teoria de Glauert. O trabalho desenvolvido mostra ótimos resultados para o aproveitamento da energia do ar desperdiçado no ambiente, por sistemas de captação de pó, na geração de energia de forma sustentável, utilizando os conceitos estudados é possível desenvolver uma turbina capaz de gerar energia suficiente para alimentar um escritório com vários computadores e toda a sua iluminação.

Palavras-chave: eólico, turbina, energia sustentável.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente muito se fala em energia renovável. Do ponto de vista econômico e socioambiental, muitas empresas vêm buscando o desenvolvimento e instalação de equipamentos para geração de energia de forma sustentável.

Além de ser ecologicamente corretas, a utilização de fontes renováveis para geração de energia tem ganhado grande destaque pela eficiência com que os sistemas atuais aproveitam as fontes de energia naturais, principalmente as solares e eólicas.

Muitas empresas no Brasil e no mundo, durante seu processo industrial, tem como consequência a geração de poluentes na forma de particulado em níveis acima dos aceitáveis estipulados pelos órgãos ambientais governamentais ou pelo próprio cliente. Portanto, para sanar este problema, é comum possuírem instalados em suas unidades fabris, sistemas de captação de pó, que funcionam com enormes ventiladores centrífugos que expiram ar junto com o pó em pontos determinados de captação.

Este ar contaminado com pó, primeiramente passa por um sistema de filtro, onde o pó é separado e depositado em um reservatório. Após o ar estar totalmente limpo, ele é novamente devolvido para o ambiente externo.

Em alguns sistemas, a quantidade de ar expelida é de aproximadamente 50.500m³/h, a uma velocidade aproximada de 32m/s, sendo considerado um grande potencial de energia desperdiçada.

Diante disso, observou-se a necessidade do desenvolvimento de um sistema capaz de aproveitar esta energia desperdiçada para gerar energia de forma renovável. Partindo deste princípio, surgiu a ideia de projetar uma turbina eólica, que é o tema deste trabalho de conclusão de curso, para ser instalada nas tubulações desses sistemas. Esta turbina

possuirá pás do tipo eólicas, que serão propulsadas pela força do ar gerada no sistema de captação. A rotação gerada na turbina acionará um alternador, que fará a conversão de energia cinética em energia elétrica.

A quantidade de energia gerada no sistema será definida durante este estudo, e esta energia poderá ser utilizada para alimentar máquinas, equipamentos elétricos e a iluminação das empresas, gerando economia de energia, além de contribuir com a questão socioambiental.

2. ESTADO DA ARTE

O consumo de combustíveis, antes limitado às atividades domésticas e de subsistência, como aquecimento e preparação de alimentos, cresceu, exponencialmente.

Com a industrialização e o consequente desenvolvimento da tecnologia, as questões ambientais vêm se tornando foco, diante da escassez de recursos naturais, assim o desenvolvimento sustentável ganha força, cada vez mais se destacando em empresas compromissadas na utilização destes recursos com responsabilidade.

Sabe-se que a natureza é vulnerável à intervenção humana. Assim, as discussões em torno de estratégias necessárias para garantir desafios inter-relacionados de desenvolvimento social, econômico e ambiental, visando à sustentabilidade têm sido evidenciadas.

Construir sustentavelmente proporciona a redução do impacto ambiental e o desperdício, de modo a favorecer a redução do consumo de energia e água além de reciclar e reutilizar os materiais, com foco na preocupação com o meio ambiente.

Segundo MOREIRA JUNIOR (2009), com as previsões de exaustão das fontes baseadas nos hidrocarbonetos, a Ciência procura alternativas energéticas, no rico manancial oferecido pela natureza: recursos abundantes, limpos e renováveis. As fontes de energia renováveis mais conhecidas são: A energia eólica, a solar, a biomassa e a hidráulica, onde o autor destaca que: “A energia eólica é aproveitada pela movimentação do ar, na forma de vento, abundante fonte de energia, renovável, limpa e disponível em todo o Globo.

Para JÚNIOR (2021), a energia eólica, também chamada de energia dos ventos, é a energia cinética contida nas massas de ar, vento, que tem condições de ser aproveitada e utilizada na geração de energia elétrica, por meio da indução eletromagnética, e para trabalhos mecânicos como bombeamento de água e trituração de grãos.

Para tanto, REIS (2011), diz dos aerogeradores, que são os equipamentos utilizados para, a partir do contato com o vento, rotacionarem e gerarem outras formas de energia, como a elétrica por exemplo. “Seu uso para obtenção de energia elétrica é bem mais recente, havendo relatos de estudo no século XIX, mas sendo consolidada apenas em 1970, onde se viu necessária devido à crise do petróleo

Ao se fazer uma digressão histórica sobre a energia eólica, observa-se que a utilização dos ventos para produção de energia é secular. Inicialmente aproveitado pelos Persas, no Séc. V, esse engenho consiste na utilização do vento que, ao atingir uma hélice, impulsiona uma bomba de sucção da água, para um reservatório, e depois utilizada na irrigação de plantações, aproveitando-se a força da gravidade. É o moinho se vento, cujo mecanismo básico não sofreu grandes modificações, no transcorrer dos tempos.

Grande propulsora do progresso, a indústria eólica tem alcançado níveis satisfatórios no mundo, atuando como fonte de crescimento econômico e tecnológico.

Para MARQUES (2004) as motivações para utilização da energia eólica são o baixo impacto ambiental, geração distribuída de energia, rápida instalação e baixa quantidade de terra para instalação. Além disso, do fato de que o local onde é instalada uma turbina eólica também pode ser usado para outras atividades, como agricultura e pecuária” O exaustor eólico é um tipo de exaustor giratório acionado pela força do vento, com o propósito de renovar o ar do ambiente onde estiver instalado. A proposta de desenvolvimento de turbina eólica para geração de energia em sistemas de exaustão de pó proporcionará a geração de energia renovável e limpa, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável.

2.1. Desenvolvimento

O projeto mecânico desenvolvido tem como referência um exaustor existente em uma cooperativa de café, localizada no sul do estado de Minas Gerais.

Todo o desenvolvimento a seguir considera a instalação da turbina na tubulação de saída deste exaustor, apresentado na Fig. 1, com a premissa de que o fluxo de ar nesta região da tubulação é isento de contaminantes sólidos e com os seguintes dados:

- Velocidade do vento = 32 m/s
- Vazão = 50463 m³/h
- Densidade do ar à 25°C = 1,184 Kg/m³
- Viscosidade Cinemática do ar à 25°C = 1,555×10⁻⁵ m²/s
- Diâmetro da tubulação = 0,73 m

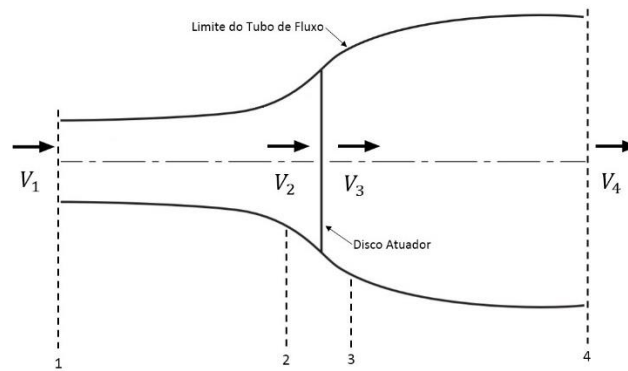


Figura 1. Exaustor. Adaptado de Wind Energy Explained (2009).

Para os cálculos a seguir, os valores de C_p (Coeficiente de Potência) são fundamentados no gráfico da Fig. 2.

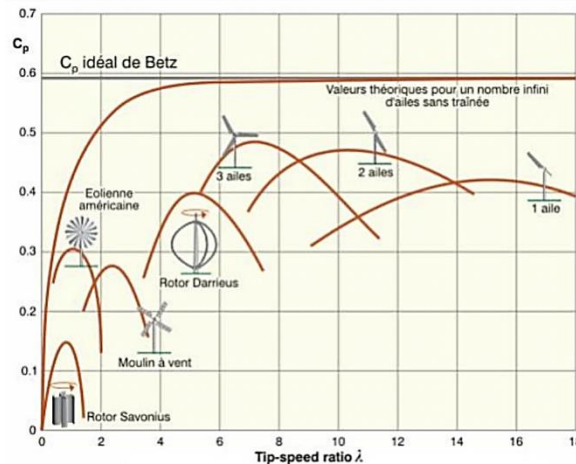


Figura 2. Wind Turbines – Fundamentals, Technologies, Application, Economics (2005).

O C_p adotado foi baseado na eficiência das turbinas atuais, que atingem valores máximos entre 0,3 e 0,5. Desta forma, o valor escolhido foi $C_p=0,45$ e consequentemente o valor da Taxa de Velocidade na Ponta (TSR)=6.

Como um volume de controle não pode ter uma seção uniforme, pois para que o disco rotor da turbina alcance sua eficiência máxima é necessário que se considere as reações do fluxo de ar no interior do volume de controle, seguindo este conceito a tubulação deste projeto foi dividida em três partes, sendo respectivamente, tubulação de entrada, tubulação intermediária e tubulação de saída.

Como a seção da tubulação de entrada já é dada pelo diâmetro da tubulação do exaustor, a próxima seção a ser definida é a da tubulação intermediária.

No cálculo da eficiência máxima teórica de uma turbina eólica, Betz chegou ao valor de aproximadamente 59% quando o valor de $a=1/3$, assim assumindo o valor de eficiência a 45% conclui-se que $a \approx 0,253$, o que resulta em um área de seção intermediária igual a $A_2 \approx 0,5603 \text{ m}^2$, fornecendo-nos um diâmetro da tubulação intermediária que de $\phi_2 \approx 0,8446 \text{ m}$.

Baseado na lei da conservação de massa, obtém-se então os valores da seção de saída que nos fornecem que a área da seção de saída que será:

$$A_4 \approx 0,8472 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Desta forma o valor do diâmetro da tubulação de saída é portanto:

$$\phi_4 \approx 1,0386 \text{ m} \quad (2)$$

Com os valores das áreas definidos é possível calcular as velocidades com a qual o fluxo de ar passa em cada seção da tubulação, sendo estas: $V_1=32 \text{ m/s}$, $V_2=23,904 \text{ m/s}$ e $V_4=15,808 \text{ m/s}$.

A partir dos valores de área e velocidades do vento no interior da tubulação, é possível calcular a potência disponível no vento, que passa pela seção onde se encontra o rotor da turbina.

No projeto, o rotor da turbina está localizado na seção intermediária da tubulação, que corresponde a tubulação de seção A_2 , assim utilizando a equação tem-se:

$$P \approx 4,531 \text{ kW} \quad (3)$$

O dimensionamento do rotor tem como referência os rotores de aerogeradores de pequeno porte, por terem dimensões de área próximos aos valores deste projeto mecânico. Há um detalhe importante a ser considerado neste dimensionamento que é o fato de aerogeradores de pequeno porte trabalharem com velocidades de vento baixas, em torno de 3 a 16 m/s, enquanto a velocidade calculada na tubulação intermediária, onde se encontra o rotor, é de 23,904 m/s.

Esta velocidade calculada acarretaria uma velocidade angular do rotor muito alta, o que poderia levar a vibrações e ruídos prejudiciais à vida útil da turbina.

A velocidade angular do rotor torna-se então, um fator limitante no dimensionamento da área varrida pelo rotor dentro da tubulação intermediária.

Baseado nas velocidades angulares de aerogeradores de pequeno porte e de ventiladores industriais, o valor da velocidade angular seguro para este projeto ficou determinado com o valor de $\omega=377 \text{ rad/s}$, que equivale a 3600 RPM.

Portanto, com o valor da velocidade angular do rotor definida, a partir do TSR e da velocidade do vento na tubulação intermediária, pode-se calcular o raio do rotor, $R=0,380 \text{ m}$.

A dimensão do raio do rotor é um fator determinante para o cálculo da potência extraída do vento pela turbina. Utilizando esses dados e o C_p escolhido, tem-se a potência extraída:

$$P_{\text{extraída}} \cong 2,039 \text{ kW} \quad (4)$$

O desenvolvimento das pás eólicas do rotor segue o critério da teoria do elemento de pá, ou teoria de Glauert, por abranger todas as forças atuantes no processo de passagem do vento pelo rotor da turbina.

A escolha da quantidade de pás se deu pelo número de pás ideal de acordo com a TSR desejado (WENZEL,2007), conforme mostra a Tab. (1).

Tabela 1. Relação de número de pás ideal em função de TSR.

Relação da Velocidade de Ponta - λ	Número de Pás - B
1	6 – 20
2	4 – 12
3	3 – 6
4	2 – 4
5 – 8	2 – 3
8 – 15	1 – 2

Fonte: WENZEL, 2007.

O perfil aerodinâmico escolhido para as pás deste projeto foram os aerofólios do Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos EUA (NREL), que disponibiliza diversos perfis aerodinâmicos para aerogeradores de grande e pequeno porte, e seus valores de coeficientes necessários para os cálculos das forças atuantes no rotor.

Em 2016 a NREL publicou, em seu relatório “The S833, S834, and S835 Airfoils” (SOMERS, 2002), um conjunto de aerofólios de alta performance e baixo ruído para aerogeradores de pequeno porte. Este conjunto composto pelos perfis S833, S834 e S835, mostraram-se ideais para a utilização em rotores com diâmetros entre 1 e 3 metros.

Por serem estes perfis aerodinâmicos os mais próximos das dimensões do rotor deste projeto, eles serão aplicados ao longo da pá eólica de acordo com a recomendação da NREL. Desde 1974 a NREL pesquisa aerofólios para fins experimentais e comerciais, e em seus diversos relatórios indica três posições da pá onde o aerofólio deve ser definido e equacionado, sendo elas: Base, Primário e Ponta e são ilustrados na Fig.3 a seguir:

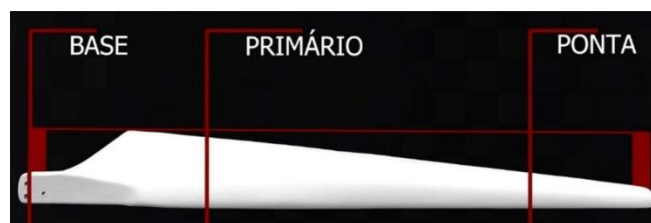


Figura 3. Descrição das sessões da pá de um aerogerador.

Fonte: BRETSCHNEIDER, 2018.

Segundo as recomendações de SOMERS (2002), para a utilização destes aerofólios, é necessário que se realizem as equações de comprimento de corda para as posições 40% (base, aerofólio S835), 75% (primário, aerofólio S833) e 95% (ponta, aerofólio S834) para que sejam alcançados os valores essenciais do melhor desempenho destes modelos.

O comprimento da pá eólica calculada tem valor de 0,38m, portanto as medidas de raio para cálculos à 40%, 75% e 95% serão: $r_1=0,152\text{m}$, $r_2= 0,285\text{m}$ e $r_3=0,361\text{m}$.

Para um melhor desenvolvimento da geometria da pá eólica, os intervalos destas medidas foram subdivididos em partes iguais, totalizando 10 divisões de cordas para a aplicação dos aerofólios. A Fig. 4 apresenta esta subdivisão, respeitando a posição de cada aerofólio em seu respectivo local de aplicação.

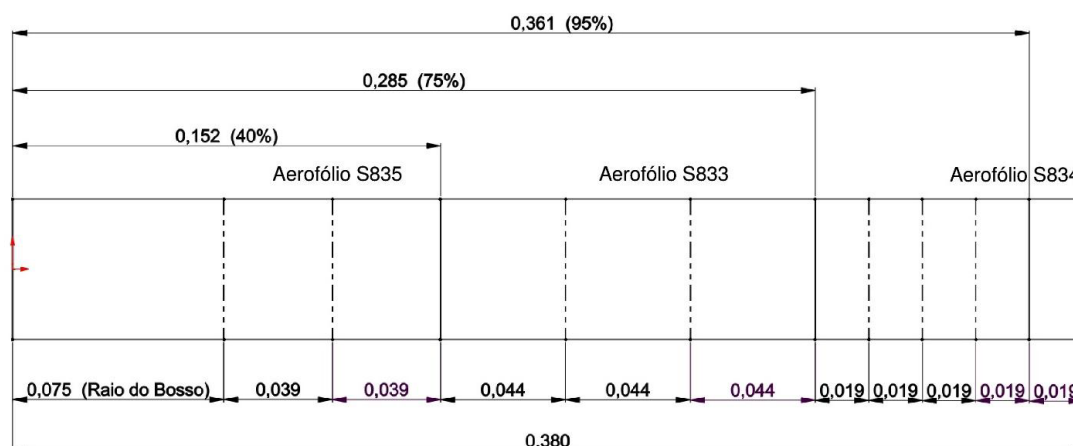


Figura 4. Divisão da seção da pá eólica (m).

Toda turbina eólica horizontal é movida pela força de sustentação, por isto os aerofólios escolhidos devem ser posicionados no ângulo de ataque (α) que forneça o maior coeficiente de sustentação (C_l) e o menor coeficiente de arrasto (C_d) para aquele determinado aerofólio. A resultante aerodinâmica se dá a partir da diferença entre os coeficientes de sustentação e arrasto (C_l/C_d).

A Tab. 2 apresenta os valores de ângulo de ataque, com os maiores coeficientes de sustentação e os menores coeficientes de arrasto para cada ângulo dos aerofólios escolhidos.

Tabela 2. Valores de α , C_l , C_d e C_l/C_d com melhor desempenho.

Aerofólio	Ângulo de Ataque (α)	Coeficiente de Sustentação (C_l)	Coeficiente de Arrasto (C_d)	Resultante Aerodinâmica (C_l/C_d)
S835	6°	0,967	0,015982	60,50557
S833	5°	0,928	0,01373	67,58922
S834	7°	0,959	0,020969	45,1601

Desta forma é possível criar cada perfil nas dimensões escolhidas de projeto, aplicando-se apenas a escala e a unidade de medida desejada.

Com o auxílio de um software de CAD (Computer Aided Design), torna-se possível gerar os perfis dos aerofólios utilizando-se dos pontos de coordenadas disponibilizados pela NREL. A Fig. 5 mostra o perfil do aerofólio escolhido para ser aplicado na base da pá eólica, ou seja, do limite de fixação no bosso até o limite de 40% de seu comprimento.

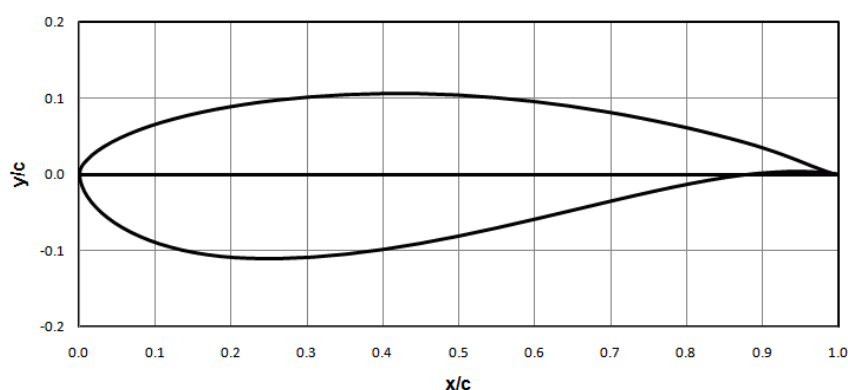


Figura 5. Aerofólio NREL S835.

Fonte – NREL, 2021.

A Fig. 6 contém o perfil aerofólio escolhido para ser aplicado na seção primária, que se inicia a partir do final da base vai até 75% do comprimento total da pá.

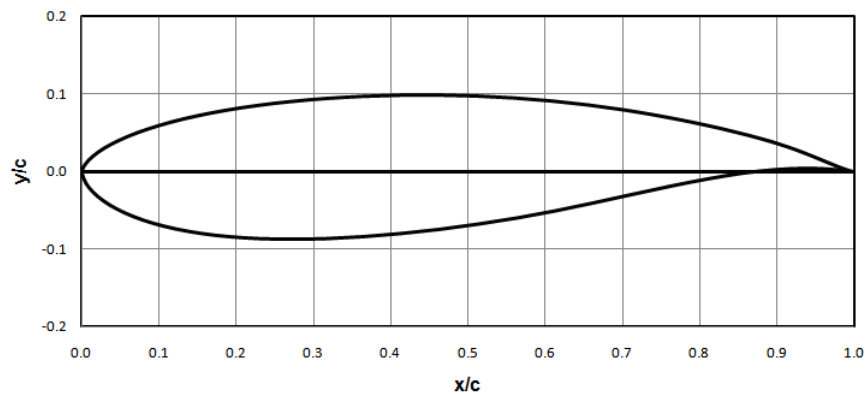


Figura 6. Aerofólio NREL S833.

Fonte – NREL, 2021.

A Fig. 7 demonstra o perfil aerofólio escolhido para ser aplicado na ponta da pá eólica, localizando-se radialmente a 95% do comprimento total da pá até o seu final.

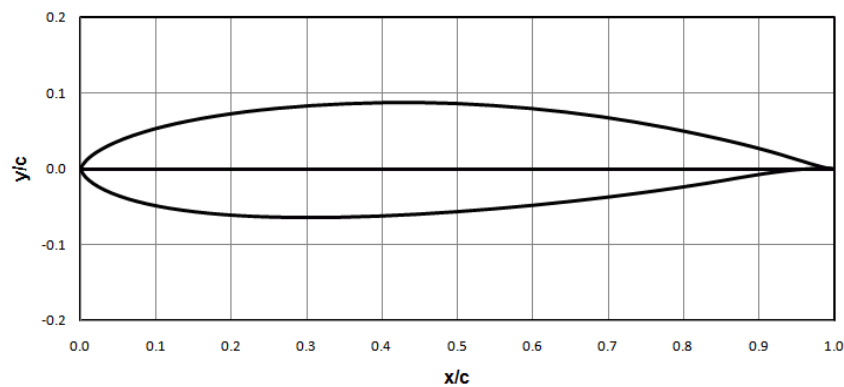


Figura 7. Aerofólio NREL S834.

Fonte – NREL, 2021.

Os resultados contendo os valores calculados para cada perfil de aerofólio estão contidos na Tab.3.

Tabela 3. Valores de corda para as seções divididas.

Aerofólio	Comprimento de corda para cada divisão de seção (m)			
S835	$C_1 \cong 0,090$	$C_2 \cong 0,064$	$C_3 \cong 0,049$	-
S833	$C_4 \cong 0,040$	$C_5 \cong 0,033$	$C_6 \cong 0,028$	$C_7 \cong 0,026$
S834	$C_8 \cong 0,024$	$C_9 \cong 0,023$	$C_{10} \cong 0,021$	$C_{11} \cong 0,020$

Para cada valor de corda calculado, pode-se calcular os valores de ângulo de passo ao longo de cada perfil de aerofólio, de acordo com cada seção das divisões da pá eólica, e os valores obtidos destes ângulos são mostrados na Tab. 4.

Tabela 4 . Ângulo de passo das seções divididas.

Aerofólio	Ângulo de passo para cada divisão de seção			
S835	$\beta_{C1} = 20^{\circ}47'10''$	$\beta_{C2} = 13^{\circ}26'28''$	$\beta_{C3} = 9^{\circ}4'48''$	-
S833	$\beta_{C4} = 6^{\circ}55'9''$	$\beta_{C5} = 4^{\circ}49'45''$	$\beta_{C6} = 3^{\circ}21'11''$	$\beta_{C7} = 2^{\circ}50'46''$

S834	$\beta_{C8} = 0^{\circ}23'46''$	$\beta_{C9} = -0^{\circ}0'22''$	$\beta_{C10} = -0^{\circ}21'58''$	$\beta_{C11} = -0^{\circ}41'31''$
------	---------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

O número de Reynolds, velocidades relativas, força de sustentação, força de arrasto e ângulos de fluxo de ar foram calculados nas seções consideradas críticas da pá eólica, que segundo SOMERS (2002), são as cordas dos aerofólios à 40%, 75% e 95% do raio total da pá. Os valores encontrados são mostrados na Tab. 5 a seguir:

Tabela 5 – Valores de Re, W L, D e ϕ para cada seção.

Corda	Valores para cada divisão de seção				
40%	$Re_1 = 75324,50$	$W_1 = 62,15 \text{ m/s}$	$L_1 = 108,35 \text{ N}$	$D_1 = 1,79 \text{ N}$	$\phi_1 = 15^{\circ} 4'48''$
75%	$Re_2 = 43042,57$	$W_2 = 110,19 \text{ m/s}$	$L_2 = 186,77 \text{ N}$	$D_2 = 2,76 \text{ N}$	$\phi_2 = 8^{\circ} 21'11''$
95%	$Re_3 = 32281,93$	$W_3 = 138,33 \text{ m/s}$	$L_3 = 228,14 \text{ N}$	$D_3 = 4,99 \text{ N}$	$\phi_3 = 6^{\circ} 38'2''$

Para encontrar o torque do rotor, utiliza-se a teoria de Glauert. Nesta teoria é considerada um perfil aerodinâmico constante ao longo da pá eólica. Como neste projeto foram utilizados três perfis aerodinâmicos diferentes, para o cálculo do torque considera-se a média para os valores de coeficiente de sustentação (C_l), coeficiente de arrasto (C_d), corda (c), velocidade relativa (W) e ângulo de fluxo (ϕ). Portanto os valores médios utilizados serão:

$$C_{l \text{ médio}} = 0,951 \quad (5)$$

$$C_{d \text{ médio}} = 0,016894 \quad (6)$$

$$c_{\text{médio}} = 0,038 \text{ m} \quad (7)$$

$$W_{\text{médio}} = 103,56 \text{ m/s} \quad (8)$$

$$\phi_{\text{médio}} = 10^{\circ} 1'19'' \quad (9)$$

Desta forma, o resultado do torque calculado no rotor será de:

$$T \cong 7,476 \text{ Nm} \quad (10)$$

Utilizando o valor do torque, pode-se encontrar a potência no eixo do rotor, que resulta no seguinte valor:

$$P_{\text{eixo}} \cong 2,82 \text{ kW} \quad (11)$$

Logo, a força axial que o vento exerce sobre o rotor, segundo Glauert, é:

$$F_x = 103,43 \text{ N} \quad (12)$$

Com o auxílio de um software de CAD e os dados apresentados no desenvolvimento da pá eólica, é possível modelar a geometria 3D da pá eólica deste projeto mecânico.

A partir dos pontos disponibilizados pela NREL para cada aerofólio escolhido, aplicando-se a escala, de acordo com o comprimento de corda de cada seção, é possível gerar o perfil de aerofólio nas medidas necessárias, para serem posicionadas nas distâncias estabelecidas, de acordo com cada divisão calculada. A Fig. 8 demonstra a posição e as geometrias de cada perfil de acordo com as distâncias pré-determinadas no projeto.

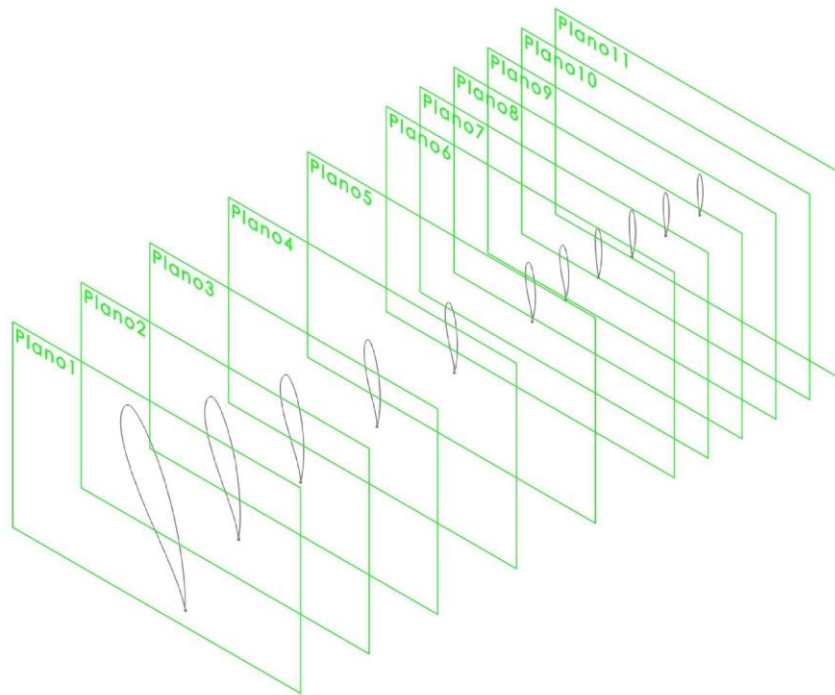


Figura 8. **Perfis de acordo com o plano.**

Partindo deste posicionamento dos aerofólios, que compõem o perfil aerodinâmico da pá, e utilizando-se de recursos para a construção de geometrias 3D do software de CAD, é possível obter a modelagem da pá eólica. Precedendo o perfil aerodinâmico da pá encontra-se a ponta de fixação da pá eólica no bosso. Para esta ponta, foi determinado no projeto um perfil de seção retangular, com encaixes para três parafusos allen de cabeça cilíndrica M6, que irão garantir a fixação da pá de forma segura no bosso.

A Fig. 9 apresenta o modelo 3D da pá eólica com o perfil aerodinâmico definido e o perfil para a fixação dela na base do bosso.

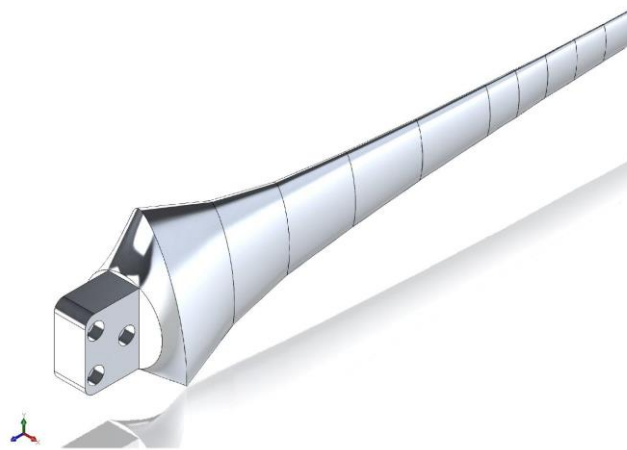


Figura 9. **Modelo 3D da pá eólica desenvolvida.**

De acordo com a norma internacional DNV-DS-J102 (Design and Manufacture of Wind Turbine Blades, Offshore and Onshore Wind Turbines), os materiais metálicos normalmente não precisam de qualificação para a fabricação de pás eólicas.

Geralmente as pás de turbinas eólicas são confeccionadas por diversos materiais, compostos por resinas, lâminas de madeira, revestimentos de gel, poliuretano e fibras reforçadas com epóxi ou poliéster. Desta forma garantem menores impactos quanto as forças que exercem sobre a torre que as sustentam, portanto faz-se necessário a seguir a recomendação desta norma para a fabricação de pás eólicas.

Como a pá eólica deste projeto trata-se de uma pá de pequeno porte será fabricada de apenas um material ao longo de toda a sua extensão.

O material escolhido para a confecção da pá eólica foi o alumínio 7075, por se tratar de uma liga leve, com ótima resistência mecânica, uma boa resistência à fadiga e é muito empregada na indústria aeronáutica devido a essas propriedades citadas.

O material do eixo do rotor será confeccionado de aço SAE 1045 (Society of Automotive Engineers International), por possuir propriedades mecânicas próprias para aplicação de eixos que exigem altos torques de trabalho.

A estrutura que compõe tubulação e os suportes de fixação do rotor serão fabricados em aço SAE 1020 por não exigirem propriedades mecânicas elevadas.

Na ponta oposta ao rotor será fixado uma transmissão angular 90° com redução de 1:2 para reduzir a rotação de 3600 RPM para 1800 RPM, devido a maior disponibilidade de alternadores que trabalham com esta rotação. Desta forma, além da possibilidade de aplicar diversas marcas de alternadores disponíveis no mercado, há um aumento no torque do eixo de saída para aproximadamente 5,64 kW, ou 7,67 cv .

3. RESULTADOS

O trabalho aqui desenvolvido, mostra ótimos resultados para o aproveitamento da energia do vento desperdiçado no ambiente, por sistemas de captação de pó, na geração de energia de forma sustentável. Este mostra, que utilizando dos conceitos estudados e cálculos realizados, é possível desenvolver uma turbina capaz de disponibilizar uma potência de 7,67 cv, a uma rotação de 1800 rpm, suficiente para acionar um alternador com capacidade de gerar uma potência de 5 kVA (4 kW) de energia elétrica, que é o bastante para alimentar uma sala de escritório de aproximadamente 30m² equipada com os seguintes equipamentos:

- 02 Condicionadores de ar de 9.000 BTU;
- 05 Computadores;
- 01 Impressora a Laser;
- 06 Lâmpadas de LED de 20 W;
- 01 Purificador de água refrigerado.

Juntos, estes aparelhos podem consumir até 880 kWh de energia elétrica por mês, dependendo da jornada de trabalho aplicada, isso demonstra que a turbina proposta por este trabalho pode trazer excelentes resultados econômicos para as empresas que decidirem adotá-la.

Deve-se salientar que, não foram levados em consideração neste trabalho, os efeitos que esta turbina pode causar no ventilador centrífugo, que é o propulsor do vento a ser aproveitado para o acionamento dela, nem os possíveis ruídos que todo o sistema possa gerar, estes deverão ser temas de próximos estudos.

4. REFERÊNCIAS

- Aneel., 2015. Sistema de informações georreferenciadas do setor elétrico - *Sigel*.
- Carneiro, J., 2014. Energia eólica. Departamento de Física.
- Gabriela, M. P., V. O. N. B. 2014. Sistemas de inovação e energia eólica: A experiência brasileira.
- Gil, A. C., 2007. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 5 ed. São Paulo: *Atlas*.
- Godoy, A. S., 1995B. Introdução a pesquisa qualitativa e suas possibilidades. *Revista de Administração de Empresas*. São Paulo, v. 35, n°. 2, pp. 57-63, Mar./Abr.
- Júnior, J. S. S., Acesso em 21 de junho de 2021."O que é energia eólica?". Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/o-que-e-biologia/o-que-e-energia-eolica.htm>.
- Marques, J., 2004. Turbinas Eólicas: modelo, análise e controle do gerador de indução com dupla alimentação. *Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Curso de Engenharia Elétrica, Área de Concentração e Processamento de Energia, Controle de Processos da Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande do Sul*.
- Matias, F. E. R., 2006. Utilização de Exaustores Eólicos como Fonte Geradora de Energia Elétrica. xiv, pp.86. *ENE/FT/UnB, Mestre, Dissertação de Mestrado –Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia*.
- Moreira Júnior, F. D. Viabilidade Técnica/Econômica para Produção de Energia Eólica em Grande Escala no Nordeste Brasileiro. *Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras – UFLA – Curso de Pós-Graduação Lato Sensu, em Formas Alternativas de Energia – FAE*.
- Reis, L. B., 2011B. Geração de Energia Elétrica. Manole Ltda,
- Manwell, J. F. McGowan, J. G. Rogers, A. L., 2009. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application 2° ed. West Sussex, England: John Wiley & Sons.
- Silva, A. B., 2013. Projeto Aerodinâmico de Turbinas Eólicas. *Projeto Final de Graduação submetido à Universidade Federal do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro – RJ.
- Gomes, R. M., 2016. Estudo sobre a atração fornecida por hélices mono-pás.
- Lemos, Daniel Faro do Amaral. Análise de Projeto de Turbina Eólica de Grande Porte para as Condições Climáticas da Região Nordeste do Brasil. *Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, da Universidade Federal de Pernambuco*. Pernambuco.
- Moraes, G. L., 2018. Projeto Aerodinâmico de Pás de uma Turbina Eólica. Caraúbas-RN.
- Rivera, J. S. T., 2013. Aerodinâmica do Sistema Torre-Turbina Eólica de Eixo Horizontal. *Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro-RJ.

- Silva, C. C. C., 2018. Análise Estrutural de uma Pá de Turbina Eólica Eixo Horizontal, com Geometria Otimizada Aerodinamicamente e Longarina fabricada em Material Composto. Belo Horizonte-MG,
- Hau, E., 2005. Wind Turbines – Fundamentals, Technologies, Application, Economics. 2^a ed., Reino Unido,
- Wenzel, G. M., 2007. Projeto aerodinâmico de pás de turbinas eólicas de eixo horizontal. PUC-RS. Porto Alegre, RS, Brasil:
- NREL., 2021. Acessado em 09 de outubro de 2021, disponível em NWTC Information Portal: <https://nwtc.nrel.gov/>
- Somers, D.M., S833, S834, and S835 Airfoils, Relatório Técnico, NREL/SR-500-36340. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.2172/15020040>
- Bretschneider, M. R., 2018. Projeto e simulação de pás para aerogerador horizontal de pequeno porte. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, RS, Brasil.
- Mccosker, J., 2012. Design and Optimization of a Small Wind Turbine. Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute. Hartford, Estados Unidos.
- DNV., 2010, “Design and Manufacture of Wind Turbine Blades, Offshore and Onshore Wind Turbines,” Det Norske Veritas, Design Standard No. DNV-DS-J102.

5. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

WIND TURBINE FOR ENERGY GENERATION IN DUST EXHAUST SYSTEMS

Eduardo Farias¹, du_fanuel@hotmail.com
Juliano de Paulo Pereira¹, julianobtv@hotmail.com
Ronaldo Alves da Silva¹, ronaldogersanti@gmail.com
Valdoel da Silva Júnior², valdoel2@hotmail.com
Luís Manoel de Paiva Souza³, luismanoel_tap@hotmail.com

¹Formandos em Engenharia Mecânica UNIFEG..

²Prof. Esp. Depto. de Engenharia Mecânica UNIFEG.

³Prof.Dr.-Depto de Engenharia UNIFEG-UNIP-FATEC.

Abstract. In various segments of industries in Brazil and around the world, there are systems that capture dust and particulates, generated during the industrial process, to keep the product and the working environment cleaner. This equipment has fans that suck in air contaminated with dust and particles, pass it through a filter system and release a large amount of clean air into the external environment, which can be considered as wasted energy, thus, the need to develop a wind turbine to use clean air to generate energy in a sustainable way. Some industries have several of these systems installed in their industrial units, which will enable the installation of several of these turbines that can generate a large amount of energy and promote a considerable cost reduction for these companies.

The methodology used occurred through research on articles related to conventional wind power generators, although the wind turbine proposed in this work is being developed to be installed inside an enclosed tube, the methods used in the development are basically the same. For the development of this work, three concepts referenced in researched articles were used that are normally used to calculate and dimension all types of wind power generation systems, the first of them is the Actuator Disk Concept, the second concept is the Limit of Betz and the third is the concept of the Blade Element Theory or Glauert's theory. The work developed shows excellent results for the use of energy from the wasted air in the environment, by dust collection systems, in the generation of energy in a sustainable way, using the concepts studied, it is possible to develop a turbine capable of generating enough energy to power an office with multiple computers and all its lighting.

Keywords: wind, turbine, energy sustainable.