

Desenvolvimento, teste e validação de metodologia de projeto de rotor de turbina eólica de pequena potência para aplicação rural

Palavras-Chave: Turbina eólica, Perfil de asa, Blade Element Momentum Theory (BEM)

Autores/as:

Álvaro José Azevedo G. M. Braga (bolsista) - Unicamp

Prof. Dr. Kamal A. R. Ismail (orientador) - Unicamp

INTRODUÇÃO:

Desde a antiguidade há indícios do uso de cataventos auxiliando a vida nos campos, substituindo o uso de força animal e humana para os sistemas de irrigação primitivos e para moer grãos da produção.

Nos séculos seguintes o desenvolvimento e otimização dos cataventos eram feitos de forma empírica, baseadas na tentativa e erro, situação que começou a mudar no final do século XIX, em que os estudos dos fluídos começaram a ter grandes avanços, possibilitando assim descrever por modelos matemáticos os comportamentos dos fluídos.

Entre tantos avanços desse período, um que se destaca pela importância atual que tem em nossa sociedade, é a utilização da eletricidade como fonte de energia para diversos componentes, tais como lâmpadas e equipamentos mecânicos.

Atualmente o Brasil possui uma rede de distribuição interligada, capaz de atender diversas regiões. Porém, devido às

dimensões continentais do país, muitas localidades, majoritariamente zonas rurais, não estão ligadas nesse sistema. Essa situação faz com que tais locais dependam de geradores, em sua maioria movidos por combustíveis não renováveis. Para suprir a necessidade de eletricidade das regiões isoladas, é vantajoso que tal demanda seja solucionada utilizando fontes renováveis, dessa forma auxiliando na redução dos impactos causados pelos combustíveis fósseis.



Figura 1: Mapa do sistema de transmissão de eletricidade nacional - Fonte: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>

Graças aos avanços tecnológicos dos cataventos é possível aplicá-los na geração de energia, esse equipamento se apresenta como uma alternativa para suprir a demanda elétrica das regiões isoladas. Sendo chamado de turbina eólica, tal maquinário é composto por um rotor com pás aerodinâmicas que convertem a energia cinética dos ventos em energia elétrica através de um gerador. Sendo assim, independe do sistema principal de distribuição elétrica.

METODOLOGIA:

Para atender à demanda apresentada anteriormente, essa pesquisa visa desenvolver uma turbina eólica de potência nominal de 15kW, que tenha custo de produção e manutenção reduzido, visando se adequar a realidade das regiões do escopo do projeto.

Para dar início ao desenvolvimento foi necessária a escolha de um perfil aerodinâmico para o desenvolvimento das pás do rotor. Visando a redução de custo, a escolha se baseou em perfis de asas comerciais, como por exemplo os perfis NACA e os de Göttingen.

As características usadas para selecionar o perfil ideal foram: pouco arqueado, relativamente grosso e com a razão entre o coeficiente de sustentação e o coeficiente de arrasto elevada. Após a análise dos dados, o perfil escolhido foi o GOE 797, pois dentre os estudados ele é o que melhor atende às demandas propostas para nosso projeto.

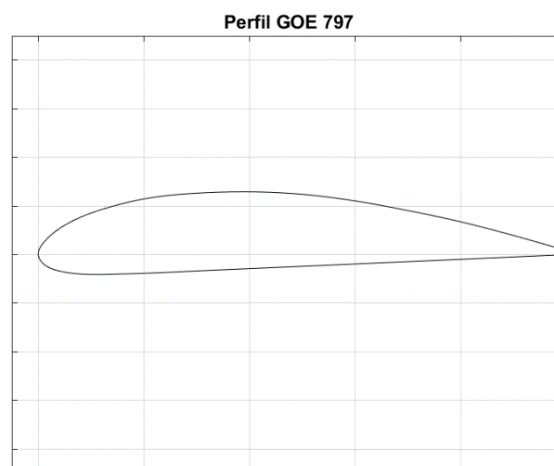


Figura 2: Perfil GOE 797

O desenvolvimento teórico do projeto utiliza como base a teoria da quantidade de movimento da lâmina (blade element momentum – BEM), através das fórmulas contidas na teoria expostas no livro Handbook of wind energy de Tony Burton.

Para o desenvolvimento dos cálculos do rotor de três pás, o escoamento estará sujeito às seguintes características: velocidade do vento constante a 9.5 m/s e escoamento viscoso com $Re = 3,7 \cdot 10^5$, dados provenientes da literatura disponível.

Para coletar os dados dos coeficientes de sustentação e arrasto em função do ângulo de ataque do perfil GOE 797, foi utilizado o software Xfoil, os quais podem ser observados na figura 3. E como exposto anteriormente, devido à importância entre a razão dos coeficientes a imagem 4 é uma representação gráfica da razão pelo ângulo de ataque.

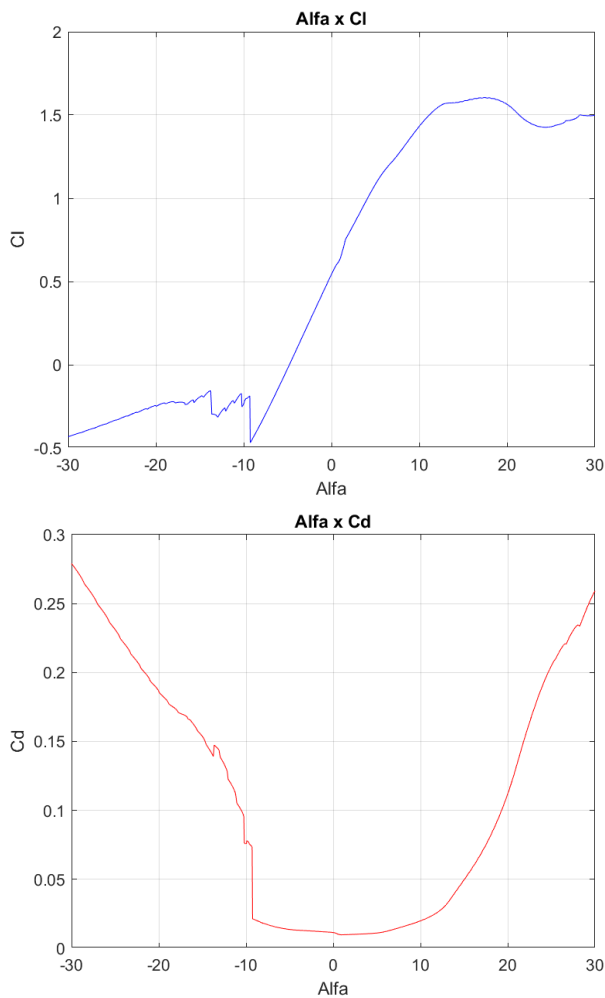


Figura 3: Gráficos das características do perfil GOE 797; A) Ângulo de ataque vs coeficiente de sustentação; B) Ângulo de ataque vs coeficiente de arrasto;

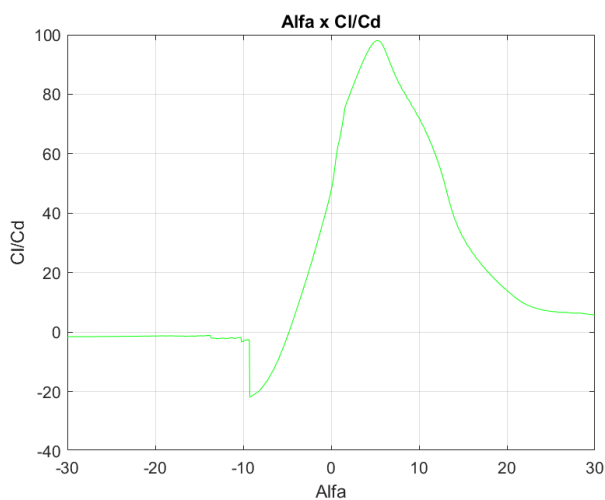


Figura 4: Ângulo de ataque vs a razão entre o coeficiente de sustentação e o coeficiente de arrasto;

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Com o objetivo de desenvolver as pás dos rotores, os dados obtidos através do Xfoil foram aplicados trabalhados usando os métodos iterativos presentes na bibliografia, fazendo uso do Matlab para o processamento dos dados.

Através da programação criada, foi possível desenvolver e analisar os parâmetros do rotor ao se utilizar as condições de operação. Dessa forma o programa foi capaz de retornar os parâmetros geométricos da pá, tais como raio, corda, ângulo de torção, entre outros. A seguir temos uma figura que demonstra as condições utilizadas para os cálculos e um exemplo de equacionamento do raio e da velocidade angular do rotor.

Desenvolvimento rotor GOE 797

```
% Condições iniciais
P= 15000; % Potência nominal - [W]
U0= 10; % Velocidade do vento - [m/s]
Cp= 0.49; % Coeficiente de potência - [%]
ef= 0.9; % Eficiência dos componentes mecânicos[%]
rho= 1.2922; % Densidade do ar - [kg.m^3]
lambda= 6.5; % Baseado nas informações contidas na bibliografia
B= 3; % [Projeto de rotor de 3 pás]

% Calcular R [m]
R= sqrt(2*P/(pi*ef*rho*Cp*U0^3))

R = 4.0936

% Velocidade angular
v_ang= U0*lambda/R

v_ang = 15.8786
```

Figura 5: Primeira seção da programação em Matlab, cálculo do Raio e velocidade angular do rotor.

Para verificar a confiabilidade dos dados foi realizada uma comparação entre os gráficos obtidos pela programação e a teoria apresentada por Burton [1]. Serão demonstrados nesse artigo somente os gráficos de ângulo de torção e o ângulo de fluxo.

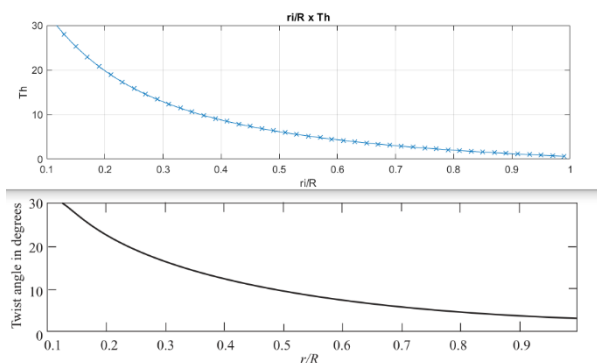


Figure 3.19 Optimum Blade Design for Three Blades and $\lambda = 6$

Figura 6: Gráfico raio normalizado x ângulo de torção. A) Proveniente da programação; B) Fig.3.19 Burton [1]

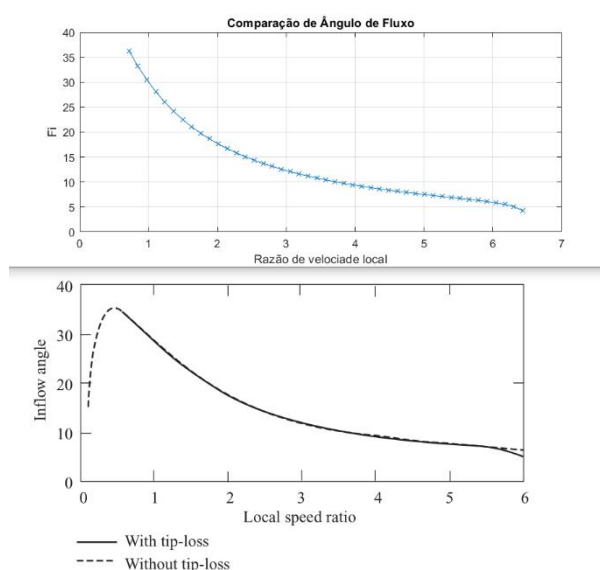


Figura 7: Gráfico razão de velocidade local x angulo do fluxo. A) Proveniente da programação; B) Fig.3.38 Burton [1]

Como é possível observar, os gráficos apresentam grande similaridade. Sua diferença se deve pelo fato de estarmos trabalhando com condições ligeiramente diferentes, como por exemplo o parâmetro da razão de velocidade da ponta (λ), em que a programação considerou $\lambda=6,5$ e a bibliografia $\lambda=6$.

Por fim, foi utilizada a programação para ilustrar o formato geral da pá do rotor, e comparar com um formato genérico esperado para uma pá de um rotor eólico.

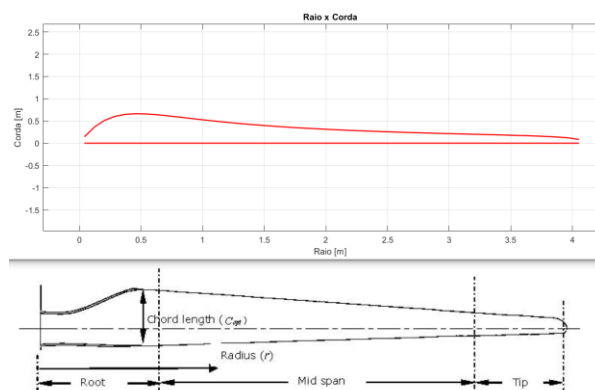


Figura 8: Formato geral da pá de um rotor eólico. A) Programação própria; B) Fonte: Wind Turbine Blade Design, Peter J. Schubel and Richard J. Crossley

CONCLUSÕES:

Os estudos realizados tiveram por intuito projetar e analisar um rotor de usinas eólicas. A teoria demonstra que mesmo utilizando um perfil não convencional, no nosso estudo o GOE 797, é possível alcançar os parâmetros de um rotor ideal, possibilitando assim o desenvolvimento de um protótipo com o intuito de continuar a pesquisa para o desenvolvimento da usina eólica para uso rural.

BIBLIOGRAFIA

1. Wind power — Handbooks, manuals, etc. I. Burton, Tony
2. Wind energy explained: theory, design, and application / James Manwell, Jon McGowan, Anthony Rogers. – 2nd ed.
3. Ira H. Abbott, and Albert E. Von Doenhoff, Theory of Wings Sections, McGraw-Hill, New York, 1949; also, Dover edition, New York, 1959.
4. John D. Anderson, Jr., Fundamentals of Aerodynamics, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1991.
5. John J. Bertin and Michael L. Smith, Aerodynamics for Engineers, 2nd ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989

