

ESTUDOS COMPARATIVOS DE MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS A TURBINAS EÓLICAS PARA OBTENÇÃO DE POTÊNCIA MECÂNICA

Lucas Mateus Santos (PIBIC/AF-IS/Uem), Júlio César Dainezi de Oliveira (Orientador), e-mail: ra105522@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia /Maringá, PR.

Engenharias / Engenharia Mecânica

Palavras-chave: Turbina eólica, coeficiente de potência, TEEH.

Resumo: O presente trabalho apresenta o estudo para obtenção do coeficiente de potência em turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH). A priori foi analisado a disparidade entre os principais métodos para análise de potência em TEEH, a saber: Teoria do Momento do Elemento da lâmina (*Blade Element Momentum Theory*), método por ativação de Vortice (*Vortex wake method*), modelo de tubo de fluxo múltiplo duplo (*Double Multiple Stream Tube model*) e Modelo de tubo de fluxo único (*Single stream tube model*). Foi observado que as principais metodologias foram elaboradas não só por modelos matemáticos, mas também pela análise computacional em CFD e realização de protótipos experimentais em campo. O método do momento do elemento da lâmina teve maior ênfase devido a possibilidade de variação do seus dados de entrada, como o raio da lâmina, rotação do eixo da turbina e ângulo de passo. Destarte, o aumento desses dois últimos parâmetros, reduz o coeficiente de potência, outrossim o máximo c_p , 0,433, foi alcançado para diferentes raios, variando apenas a velocidade correspondente.

Introdução

Turbinas Eólicas, ou Aero geradores, são máquinas que retiram a energia cinética do vento e transformam em energia mecânica. Normalmente estas máquinas são utilizadas para a geração de energia elétrica através de acoplamento com geradores, mas também, turbinas eólicas podem ser utilizadas em sistemas de bombeamento ou outros sistemas mecânicos.

Munchen et al. (2007) mostra que as turbinas eólicas são classificadas quanto à sua forma construtiva:

- Turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH)
- Turbinas eólicas de eixo vertical (TEEV).

As Turbinas eólicas de eixo horizontal são as mais difundidas no mercado e têm como característica principal a necessidade de um sistema de controle para posicionar o rotor na direção predominante de vento. Elas extraem com maior eficiência a energia do vento, se comparadas as turbinas eólicas de

eixo vertical. Machado et al. (2014) mostra que os rotores de uma turbina de eixo horizontal são classificados de acordo com sua orientação em relação ao vento (que pode ser *downwind* ou *upwind*), número de pás, sistema de controle (*pitch* ou *stall*) e a forma com que se alinham à direção do vento (*yaw* ativo ou passivo). A maioria de seus sistemas mecânicos e elétricos está instalada no nível do eixo de rotação.

Materiais e métodos

A princípio, as teorias de obtenção de potência em turbinas eólicas de eixo horizontal, elemento de pá, disco atuador e quantidade de movimento, foram implementadas nos softwares MATLAB e EXCEL. Os principais cálculos utilizados para alcançar o resultado final foram feitos em etapas. A equação 1 foi a mais utilizada para obtenção do C_p .

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^3 \pi R^2} \quad [1].$$

No intuito de comparar essas duas teorias, foram padronizados dados de entrada referentes à densidade do ar, velocidade do vento, diâmetro do rotor e velocidade angular do eixo da turbina. Os valores referentes a cada variável e suas respectivas ordens de grandeza são listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de entrada.

| | | |
|----------|-------|-------------------|
| ρ | 1,225 | kg/m ³ |
| r | 2,46 | m |
| ω | 65,97 | rad/s |
| V | 24 | m/s |

Destarte, esses valores foram aplicados nos softwares, a fim de não só obter os coeficientes de potência, mas também viabilizar os estudos comparativos das teorias.

Resultados e Discussão

A priori, foi observado que a teoria da quantidade de movimento apresentou resultados divergentes aos encontrados na literatura, os coeficientes de potência alcançados foram não só maiores que um, chegando a casa da centena, como valores negativos com ordem de grandeza de 10^3 . Mediante a aplicação dos valores da Tabela 1 foram obtidos os coeficientes de potência para cada teoria, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Coeficiente de potência para diferentes métodos de análise.

| Teoria | C_p |
|----------------|-------|
| Elemento de pá | 0,434 |
| Disco atuador | 0,426 |
| Betz | 0,522 |

A fim de analisar o comportamento gráfico para ambos métodos, mediante a variação da velocidade, foi construído um gráfico conforme mostrado na Figura 1.



Figura 1 - Gráfico C_p para as teorias BEM e disco atuador.

Em aspecto geral, o método do disco atuador alcançou os maiores coeficientes de potência, quando comparado a teoria do elemento de pá, conforme ilustra a Figura 1. Todavia, a quantidade de dados de entrada para essa teoria são limitados. Além disso, o único parâmetro plausível para variações gráficas, raio do rotor, não modifica o coeficientes de potência. Desse modo, durante o projeto foi dado maior ênfase na teoria do elemento de pá. Assim, foi analisado as características geométricas da lâmina, por meio da variação do ângulo de passo β e a taxa de variação da velocidade TSR , condizente com a Figura 2. Nessa perspectiva, foi possível observar que o aumento do ângulo de passo, reduz o coeficiente de potência.

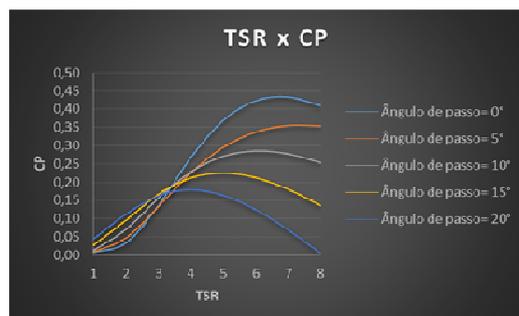


Figura 2 – Gráfico da variação do C_p em função do TSR para cada β .

Outro aspecto analisado para essa teoria foi a variação do raio da lâmina, a Figura 3 apresenta essa relação. De forma similar, foi verificado a influência da rotação angular do eixo para obtenção do C_p . Observou-se que para ambos raios o máximo coeficiente de potência atingido é 0,433. Conquanto, o maior valor de C_p é alcançado para velocidades diferentes, ou seja, quanto maior o raio da lâmina, maior a velocidade necessária para atingir 0,433

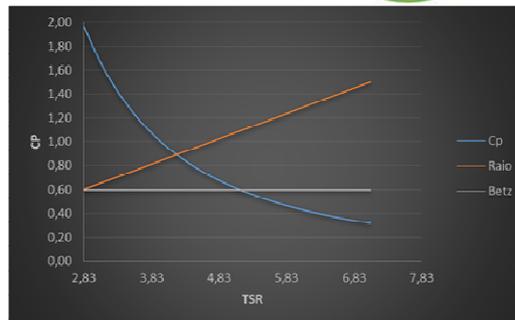


Figura 3 – Relação entre de Cp e raio com a taxa de variação da velocidade.

Conclusões

Em aspecto geral, o método do disco atuador alcançou os maiores coeficientes de potência, quando comparado a teoria do elemento de pá. Todavia, a quantidade de dados de entrada para essa teoria são limitados. Para o método *BEM*, foi possível observar que o aumento do ângulo de passo β reduz o coeficiente de potência, pois esse aumento induz a redução do ângulo de ataque diminuindo as forças aerodinâmicas atuantes e, conseqüentemente, a extração de potência do vento, logo $\beta = 0^\circ$ apresentou os maiores valores de C_p . Além disso, mediante a variação do raio da lâmina, para essa teoria, observou-se que para ambos raios o máximo coeficiente de potência atingido é 0,433. Conquanto, o maior valor de C_p é alcançado para velocidades diferentes, ou seja, quanto maior o raio da lâmina, maior a velocidade necessária para atingir 0,433. O mesmo fenômeno é observado ao aumentar a velocidade angular do eixo da turbina.

Agradecimentos

Agradeço a oportunidade de pesquisa ao programa de bolsa de iniciação científica e também ao orientador Júlio César Dainezi de Oliveira por todo apoio durante a realização do projeto.

Referências

BURTON T, JENKINS N, SHARPE D, BOSSANYI E. Wind energy handbook. 2nd edition. John Wiley and Sons Ltd.; Chichester 2011.

CAIO FILIPPO DE FARIA MACHADO, Projeto de uma Turbina Eólica de Eixo Horizontal. Rio de Janeiro, Agosto de 2014.

GUILHERME MÜNCHEN WENZEL, Projeto Aerodinâmico de Pás de Turbinas Eólicas de Eixo Horizontal. Faculdade de Engenharia – FENG, Porto Alegre, Novembro de 2007.