

TP3: Energia eólica

Energias Renováveis

ENTREGAS: Trabalhos realizados a pares. Os relatórios (Word ou PDF) e notebook (.ipynb) devem ser submetidos através do Moodle e o nome dos ficheiros deve ser “TP3 — (nº aluno 1), (nº aluno 2)”.

RELATÓRIOS: O relatório deve estar organizado com o número e resposta a cada questão. Não é necessário introdução, conclusão, etc. — discutir os resultados dentro das próprias perguntas. **É necessário apresentar todos os passos no relatório — pressupostos, fórmulas (identificando cada elemento), metodologias, resultados, gráficos e análise de resultados (comentários).** Não é necessário incluir tabelas.

NÃO ESQUECER: Apresentar unidades dos resultados. Incluir títulos dos eixos dos gráficos, e legenda quando necessário.

EXERCÍCIOS

A distribuição de Weibull é usada na caracterização do recurso eólico. Esta distribuição descreve a frequência de ocorrência de cada velocidade, e é ajustada ao recurso de cada local através dos seus parâmetros c e k .

A distribuição de Weibull é dada por:

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k} \quad (1)$$

onde u é a velocidade do vento.

A distribuição de probabilidade acumulada é dada por:

$$F(u) = 1 - e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k} \quad (2)$$

1. Para uma distribuição de Weibull com fator de escala $c = 8$ m/s e fator de forma $k = 1.6$ m/s, determina a distribuição de probabilidade da velocidade do vento, $f(u)$, e a distribuição de probabilidade acumulada, $F(u)$, para u entre 0 e 25 m/s, em intervalos de 1 m/s.

- Visualiza $f(u)$ e $F(u)$ graficamente, em separado.
- Qual a moda da velocidade? E a média?

O Parque Eólico de Marvila localiza-se perto de Mira de Aire, em Leiria. Tem uma potência instalada de 12 MW, com 6 turbinas Senvion MM92. Tem as coordenadas aproximadas (39.559912, -8.697052).

2. Usa o Open-Meteo para obter 10 anos completos de dados históricos de velocidade do vento a 100 m de altura para a localização do Parque Eólico de Marvila.

a) Constrói a distribuição de probabilidade da velocidade do vento no local, e a distribuição de Weibull que melhor a representa. Visualiza as duas em conjunto. Quais os parâmetros da distribuição de Weibull?

3. Calcula a densidade de potência do vento, em kW/m^2 , para cada velocidade, e apresenta os resultados num gráfico.

4. Compara a densidade de potência média com a densidade de potência à velocidade média. O que podes concluir?

5. Usando a biblioteca `windpowerlib`, analisa uma turbina idêntica às presentes no Parque Eólico de Marvila, considerando o rotor a 100 m de altura:

a) Indica a potência nominal da turbina e a sua área de varrimento.

b) Obtém a curva característica da turbina. Apresenta-a num gráfico.

c) Compara graficamente a curva característica da turbina com a distribuição de probabilidade da velocidade do vento. O que podes concluir?

d) Determina a potência média de funcionamento da turbina nesta localização.

e) Determina a potência do vento em MW para a área de varrimento da turbina para cada velocidade.

f) Determina o rendimento da turbina para cada velocidade e apresenta o resultado graficamente. Compara os valores obtidos com o limite de Betz, e comenta a forma da curva obtida.

g) Determina a energia gerada pela turbina ao longo de um ano, por velocidade. Compara graficamente com a distribuição de velocidades e comenta.

h) Qual a energia total gerada ao longo de um ano?

i) Determina o rendimento médio da turbina.

j) Determina o fator de capacidade da turbina. Qual dos dois valores, rendimento médio ou fator de capacidade, te parece mais útil para avaliar a performance da turbina num determinado local? Porquê?

6. Considera turbinas no Parque Eólico de Marvila, com o rotor a diferentes alturas.

a) Determina a distribuição do vento para as diferentes alturas e apresenta os resultados num gráfico. Comenta.

- b) Considerando o mesmo tipo de turbinas que se encontram presentes no Parque Eólico de Marvila, calcula para as diversas alturas a energia total gerada ao longo de um ano e o fator de capacidade.

7. Repete a questão anterior, mas desta vez para a localização do Windfloat, o primeiro projeto eólico offshore flutuante da Europa Continental.

- a) Apresenta um gráfico a comparar as distribuições de velocidade do vento para o caso onshore e offshore. Comenta.
- b) Apresenta um gráfico a comparar os fatores de capacidade do caso onshore e offshore ao longo das várias alturas. Comenta.

BÓNUS

Para um valor extra, constrói um gráfico diferente dos anteriores que mostre algo interessante relacionado com energia eólica, e explica o que ele demonstra.

FORMULÁRIO

Velocidade média do vento:

$$\bar{u} = \frac{\int u f(u)}{\int f(u)} \quad (3)$$

Densidade de potência do vento a uma determinada velocidade:

$$p_w(u) = \frac{1}{2} \rho_{ar} u^3 \quad (4)$$

Densidade de potência média do vento:

$$\bar{p}_w = \frac{\int p_w(u) f(u) du}{\int f(u) du} \quad (5)$$

Potência média da turbina:

$$\bar{P}_t = \frac{\int P_t(u) f(u) du}{\int f(u) du} \quad (6)$$

Energia gerada pela turbina num determinado período de tempo, para a velocidade u :

$$E_t(u) = \int P_t(u) f(u) dt \quad (7)$$

Energia total gerada pela turbina:

$$E_t = \int E_t(u) du \quad (8)$$

Rendimento médio da turbina:

$$\eta_t = \frac{E_t}{E_{vento}} \quad (9)$$

Densidade do ar: $\rho_{ar} = 1.225 \text{ kg/m}^3$
