

# Sistemas Energéticos

**3º ano 6º semestre**

**Aula 27**



# *Aula 27: Energia Eólica* (Pratica)

## PROBLEMA 27.1

Vento a velocidade de 15 m/s, temperatura de 20 °C e pressão de 101,3 kPa atinge uma turbina eólica de duas pás de diâmetro 15 m. Calcule para esta turbina:

- a) A potência disponível do vento;
- b) A potência máxima extraída;
- c) A potência possível da turbina;
- d) A velocidade de rotação da turbina em RPM;
- e) O torque a que a turbina está sujeita.



# PROBLEMA 27.1- RESOLUÇÃO

Dados:

$$v = 15 \text{ m/s}$$

$$P = 101300 \text{ Pa}$$

$$d = 15 \text{ m}$$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R = 287 \text{ J/kg.K}$$

a) A potência disponível do vento determina-se de:

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

$$P_{\text{vento}} = \frac{\rho A v^3}{2} = \frac{P \cdot \pi d^2 \cdot v^3}{8RT} = \frac{101300 \cdot \pi \cdot 15^2 \cdot 15^3}{8 \cdot 287 \cdot (20 + 273)} = 360,83 \text{ kW}$$



## PROBLEMA 27.1- RESOLUÇÃO

b) A potência máxima extraída determina-se de:

$$P_{Beltz} = C_{p_{Beltz}} \cdot P_{vento} = 0,593 \cdot 359,233 = 212,881 \text{ kW}$$

c) A potência possível da turbina determina-se de

$$P_{poss} = C_{p_{turbina}} \cdot P_{vento} = 0,45 \cdot 359,233 = 161,655 \text{ kW}$$

d) A velocidade de rotação da turbina em RPM

$$\Omega = \frac{r\omega}{v} = 11$$

Pois, para este tipo de turbinas, a velocidade periférica específica é de 11 (ver gráfico 26.9). E resulta que:

$$\Omega = \frac{r\omega}{V_{vent}} \Rightarrow \omega = \frac{\Omega V_{vent}}{r}$$

$$\omega = \frac{11 \cdot 15}{7,5} = 22 \left[ \frac{1}{s} \right]$$



# PROBLEMA 27.1- RESOLUÇÃO

$$rpm = \omega \frac{60}{2\pi} = 210,085 \text{ rpm}$$

e) O torque a que a turbina está sujeita será:

$$\tau = \frac{P_{poss}}{\omega} = \frac{161655}{22} = 7348 [N \cdot m]$$



## PROBLEMA 27.2

Computar o coeficiente de potência  $C_p$  para uma turbina Vestas V52-850 kW, para velocidades do vento de 10 m/s e 15 m/s. Considere a relação de velocidade periférica de 10 e as especificações turbinas seguintes:

Velocidade mínima admissível = 4 m/s

Velocidade máxima admissível = 25 m/s

Velocidade nominal = 16 m/s

Área varrida = 2124 m<sup>2</sup>

Velocidade angular do rotor (tabelada) = 14 – 31,4 rpm

Outros dados:

$$P = 101300 \text{ Pa}$$

$$T = 303 \text{ K}$$

$$R = 287 \text{ J/kg.K}$$

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{101300}{287 \cdot 303} = 1,165 \text{ kg/m}^3$$

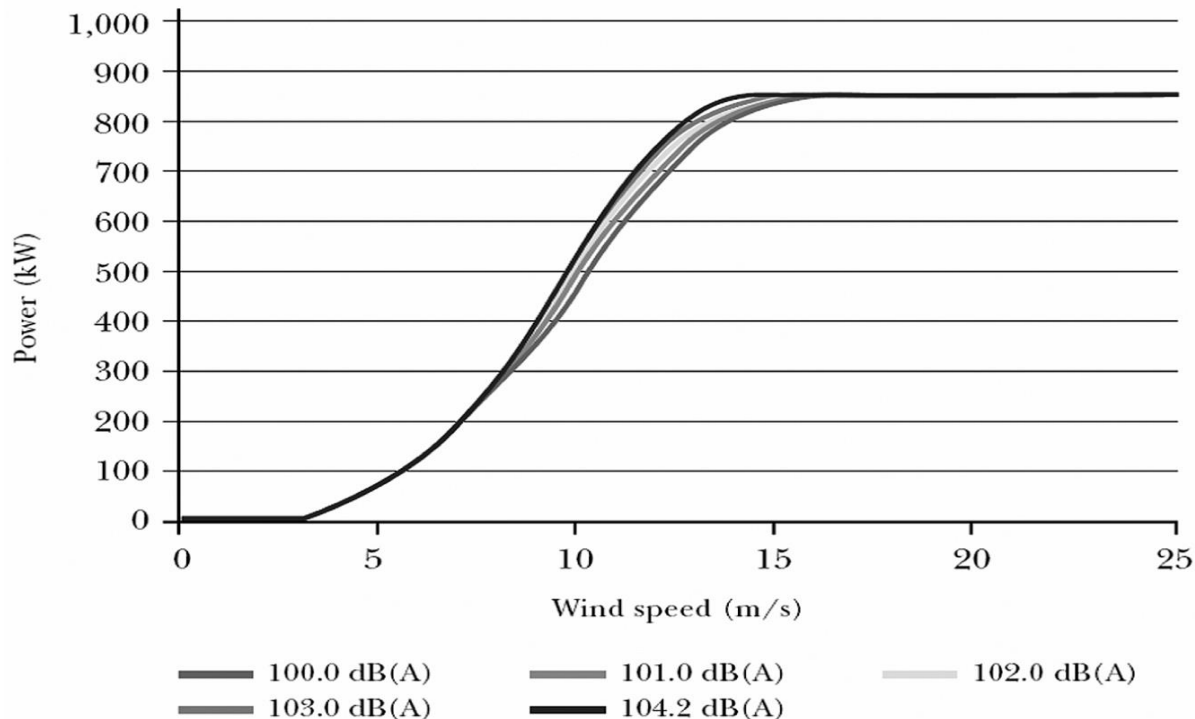


# PROBLEMA 27.2 - RESOLUÇÃO

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2124}{\pi}} = 52 \text{ m}$$

Para velocidade de 10 m/s:  $P_{\text{vento}} = \frac{\rho A v^3}{2} = \frac{1,165 \cdot 2124 \cdot 10^3}{2} = 1,237 \cdot 10^3 \text{ kW}$

Do gráfico lê-se a potência de 500 kW ( $v=10$  m/s) e 840 kW ( $v=15$  m/s).





## PROBLEMA 27.2 - RESOLUÇÃO

E calcula-se o coeficiente de potência **para a velocidade de 10 m/s**

$$C_p = \frac{P_{turb}}{P_{vento}} = \frac{500}{1237} = 0,404$$

E considerando a relação de velocidade dada, a velocidade angular será:

$$\omega = \frac{\Omega v}{r} = \frac{10 \cdot 10}{26} = 3,846 \text{ 1/s}$$

$$rpm = \omega \frac{60}{2\pi} = 36,73 \text{ rpm}$$



## PROBLEMA 27.2 - RESOLUÇÃO

Para velocidade de 15 m/s

$$P_{vento} = \frac{\rho A v^3}{2} = \frac{1,165 \cdot 2124 \cdot 15^3}{2} = 4,175 \cdot 10^3 \text{ kW}$$

E calcula-se o coeficiente de potência para a velocidade de 15 m/s

$$C_p = \frac{P_{turb}}{P_{vento}} = \frac{840}{4175} = 0,201$$

E considerando a relação de velocidade dada, a velocidade angular será:

$$\omega = \frac{\Omega v}{r} = \frac{10 \cdot 15}{26} = 5,769 \text{ 1/s}$$

$$rpm = \omega \frac{60}{2\pi} = 55,092 \text{ rpm}$$



## PROBLEMA 27.2 - RESOLUÇÃO

- A 10 m/s, o coeficiente de potência de 0,404 é razoável para operação na faixa máxima do coeficiente de potência. A 15 m/s, o coeficiente de potência é de 0,201, indicando uma operação em faixa de potência constante. Esses valores são razoáveis.
- Com o coeficiente de avanço de 10, as velocidades do rotor excedem as especificadas nos dados; no entanto, o valor do coeficiente de avanço de 10 é para um dispositivo de duas pás e não para uma turbina eólica de três pás, então é espectável alguma diferença.



## PROBLEMA 27.2 - RESOLUÇÃO

À velocidade de 10 m/s, o coeficiente de 0,404 pode considera-se razoável para a operação máxima. À velocidade de 15 m/s, o coeficiente de potência é 0,201, indicando um funcionamento numa faixa de potência baixa e constante. Com uma relação de velocidade periférica de 10, verifica-se que as velocidades do rotor são superiores às indicadas nas especificações da turbina.



## PROBLEMA 27.3

Uma turbina com rotor de 40 m possui um coeficiente de potência de 0.3 quando a velocidade do vento é de 8 m/s. A turbina é usada num parque eólico para gerar energia para uma comunidade de 100 mil habitantes (cada residência é composta por 4 membros e consome em média 3 kW). As turbinas, que são colocadas perpendicularmente à velocidade do vento têm um espaçamento de 2,4 x diâmetro do rotor e as colocadas paralelamente à velocidade do vento têm um espaçamento de 8 x diâmetro do rotor. A densidade do ar na zona é de  $1.2 \text{ kg/m}^3$  e o número de turbinas colocadas paralelamente à velocidade do vento é de 10. Pretende-se calcular:



## PROBLEMA 27.3

- a) A energia produzida por uma turbina.
- b) O número de turbinas necessárias no parque eólico.
- c) A área ocupada pelo parque eólico em acres.
- d) Se uma casa ocupar 0.25 acres, compare a área total da comunidade relativamente a área do parque eólico.
- e) Que lição o problema apresenta no que concerne a colocação de parques eólicos nas comunidades.



## PROBLEMA 27.3 - RESOLUÇÃO

Dados:

$$d = 40 \text{ m}$$

$$P = 101300 \text{ Pa}$$

$$T = 303 \text{ K}$$

$$R = 287 \text{ J/kg.K}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg / m}^3$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 1257 \text{ m}^2$$

a) A potência do vento será.

$$P_{\text{vento}} = \frac{\rho A v^3}{2} = \frac{1,2 \cdot 1257 \cdot 8^3}{2} = 386,039 \text{ kW}$$

b) A potência da turbina será.

$$P_{\text{poss}} = C_p_{\text{turbina}} \cdot P_{\text{vento}} = 0,3 \cdot 386,039 = 115,812 \text{ kW}$$



## PROBLEMA 27.3 - RESOLUÇÃO

c) Potência demandada pela comunidade será de:

$$P_{total} = \frac{100000}{4} \cdot 3 \text{ kW} = 7,5 \cdot 10^4 \text{ kW}$$

d) O número de turbinas necessárias será de:

$$N_{turb} = \frac{7,5 \cdot 10^4}{115,812} = 647,6 = 648$$

e) Área ocupada por uma turbina será de:

$$A_{foot\_print} = 2,4D \cdot 8D = 30720 \text{ m}^2$$

f) Área total do parque eólico será de:

$$A_{Tot} = N_{turb} A_{foot\_print} = 648 \cdot 30720 = 1,991 \cdot 10^7 \text{ m}^2$$

$$A_{Tot} = 4,92 \cdot 10^3 \text{ acre}$$





## PROBLEMA 27.3 - RESOLUÇÃO

g) A área ocupada pela comunidade estima-se de.

$$A_{comun} = \frac{100000}{4} \cdot 0,25 = 6,25 \cdot 10^3 \text{ acre}$$

h) E a razão entre a área do parque e a área da comunidade será.

$$Raz = \frac{4,92 \cdot 10^3}{6,25 \cdot 10^3} = 0,787$$

Conclusão:

Assim, o parque eólico vai ocupar uma área praticamente equivalente a área da comunidade. Portanto, o arranjo do parque numa zona urbana pode entrar em conflito de terra com a comunidade. Por outro lado devido a natureza do vento, a energia eólica não pode ser considerada como uma fonte segura, daí que será necessário um backup.

