

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Mecânica
Centro Tecnológico

ENERGIAS RENOVÁVEIS ENERGIA EÓLICA (2)

Prof. Júlio César Passos

Email: jpassos@emc.ufsc.br



Florianópolis, 30/05/2008



Foto: Fernando Dalmaz



Parque Eólico do Horizonte - Água Doce - SC

Plano da aula

Forças aerodinâmicas

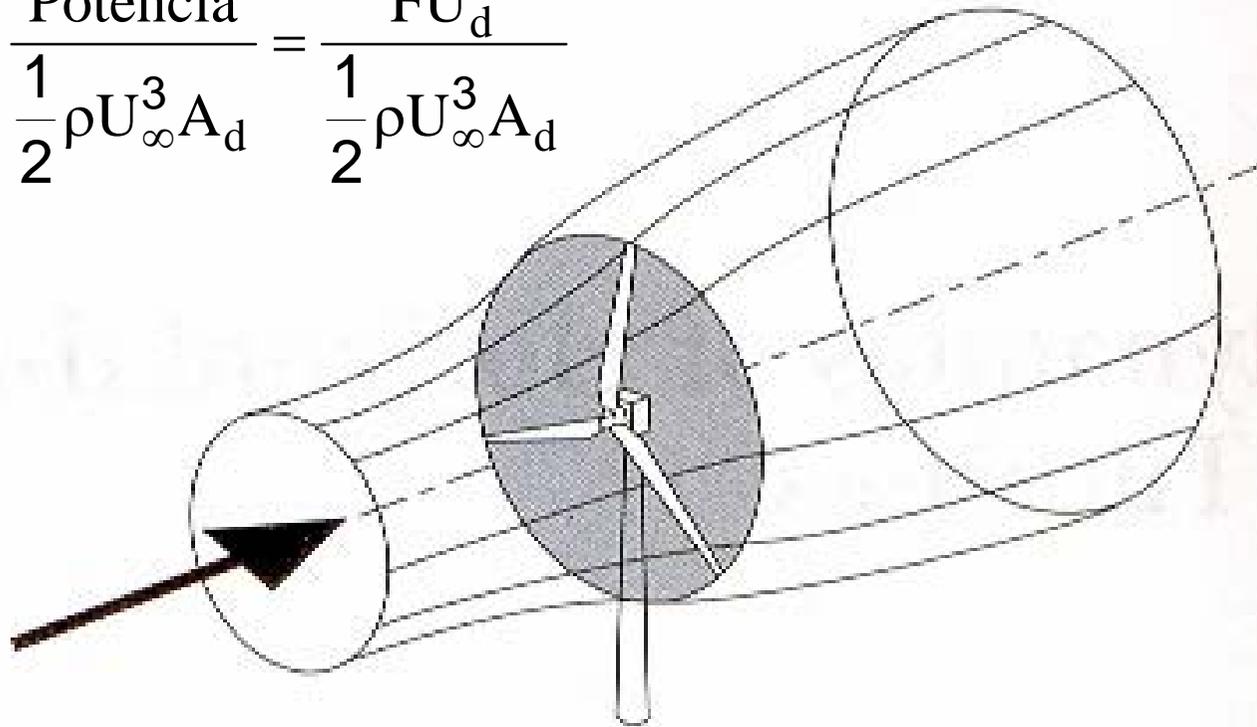
Camada limite sobre o perfil da pá

Fluxo de potência (rendimentos)

Controles de potência ativo e passivo

Tubeo de corrente

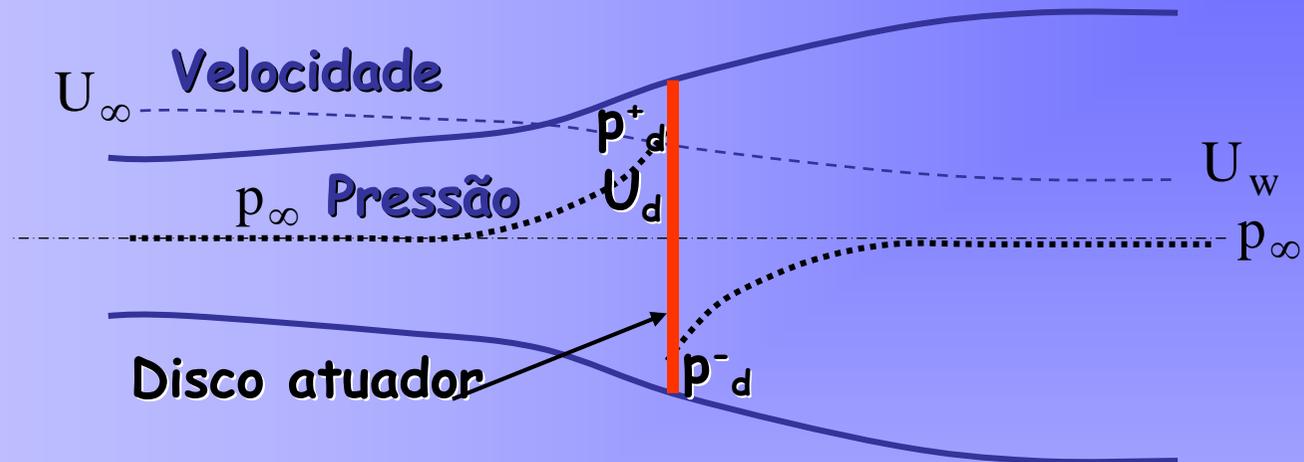
$$C_p = \frac{\text{Potência}}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^3 A_d} = \frac{F U_d}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^3 A_d}$$



Limite de Betz

$$C_{p\text{máx}} = \frac{16}{27} = 0,593$$

Disco atuador



Conservação da massa (Vazão mássica)

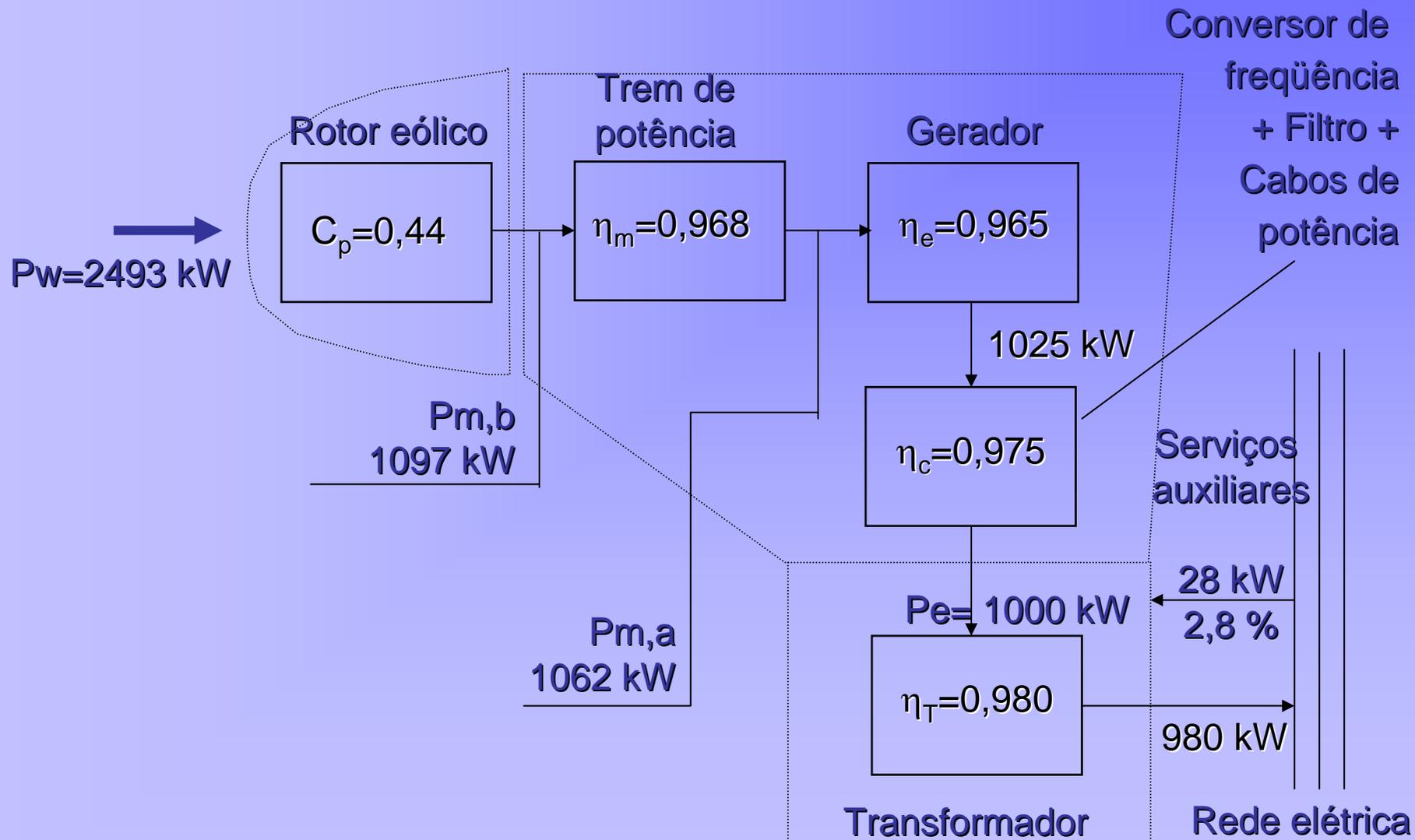
$$\rho A_\infty U_\infty = \rho A_d U_d = \rho A_w U_w$$

$$U_d = U_\infty (1 - a)$$

Fatores que limitam o C_p

- Rotação da esteira atrás do rotor;
- Número de pás e perdas na ponta de pá;
- Força de arrato

Rendimento e fluxo de potência à plena carga de um AG de 1 MW



Coeficiente de empuxo

$$C_T = \frac{\text{Força}}{\frac{1}{2} \rho U_d^2 \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)}$$

$$C_T = 4a(1 - a)$$

$a = 0,5$ quando $C_{T\text{máx}}$

Limite de Betz $C_{p\text{máx}} = \frac{16}{27} = 0,593$

Forças de origem aerodinâmica

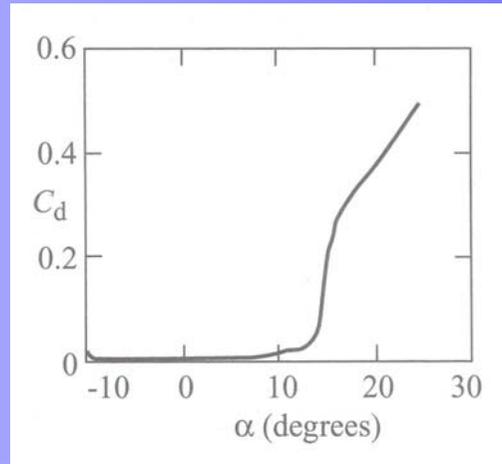
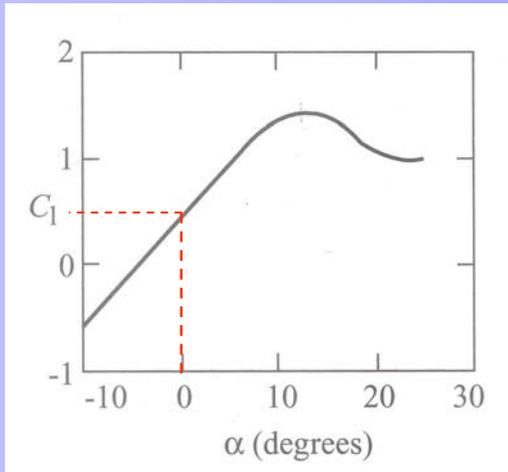
Força de sustentação (Lift)

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho W^2 c} \quad \text{Coeficiente de Sustentação}$$

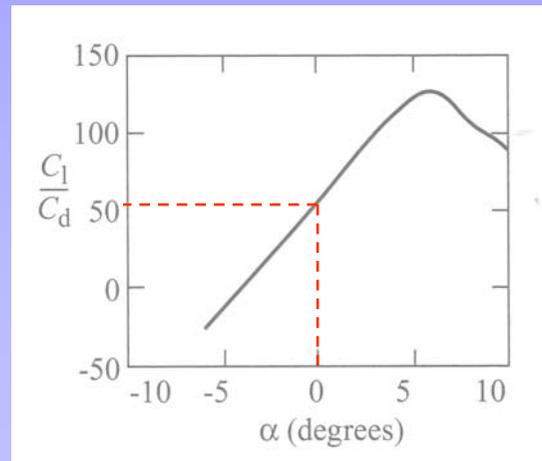
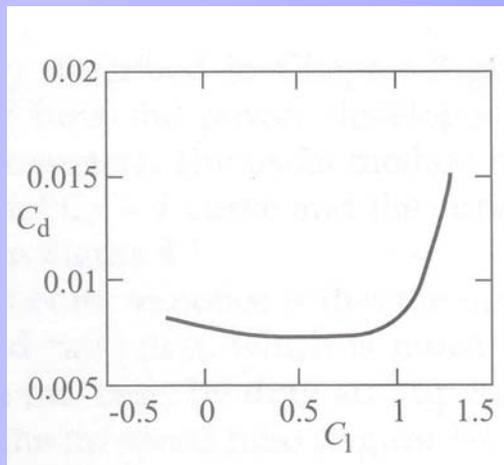
Força de arrasto (Drag)

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho W^2 c} \quad \text{Coeficiente de Arrasto}$$

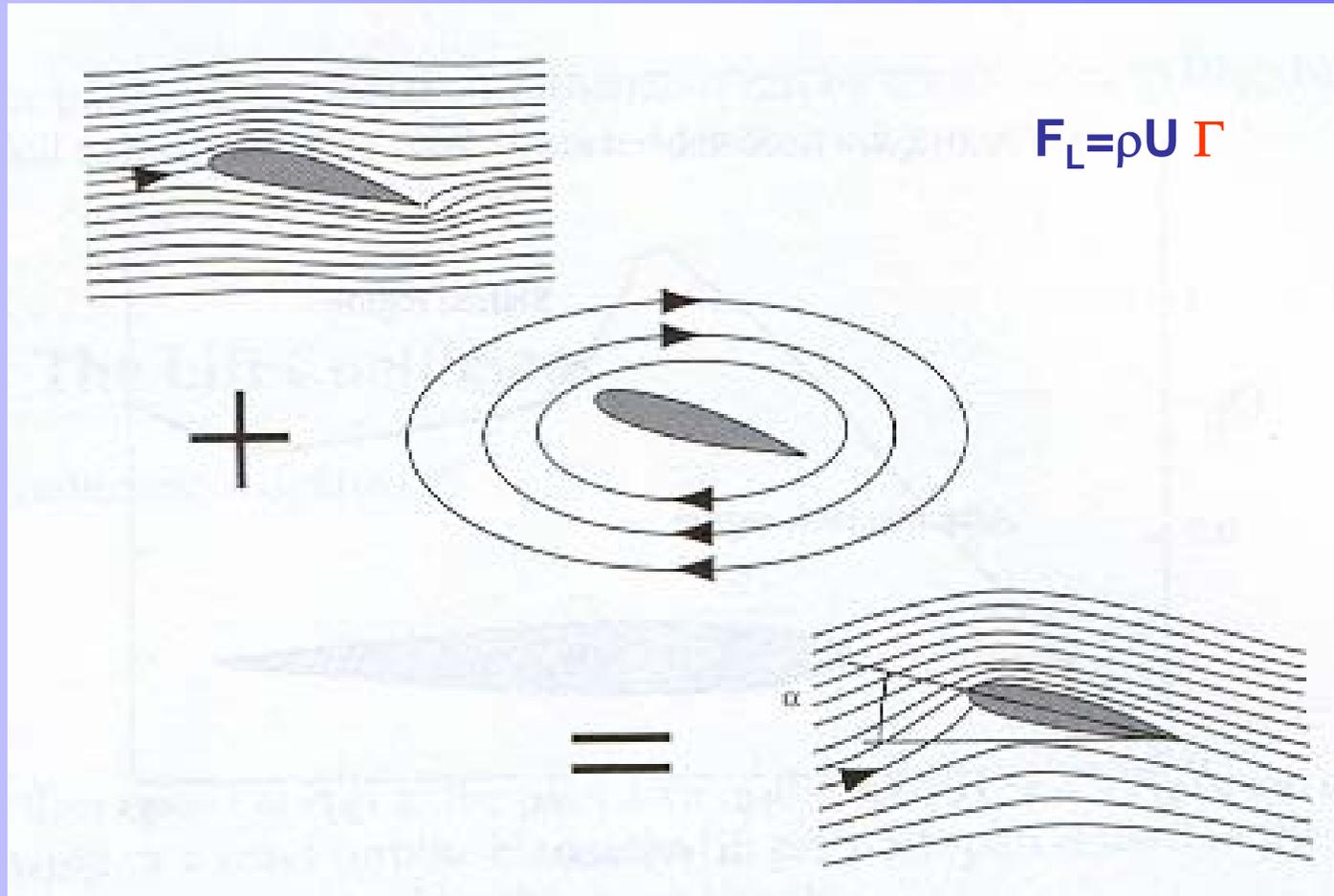
Características do perfil NACA4412



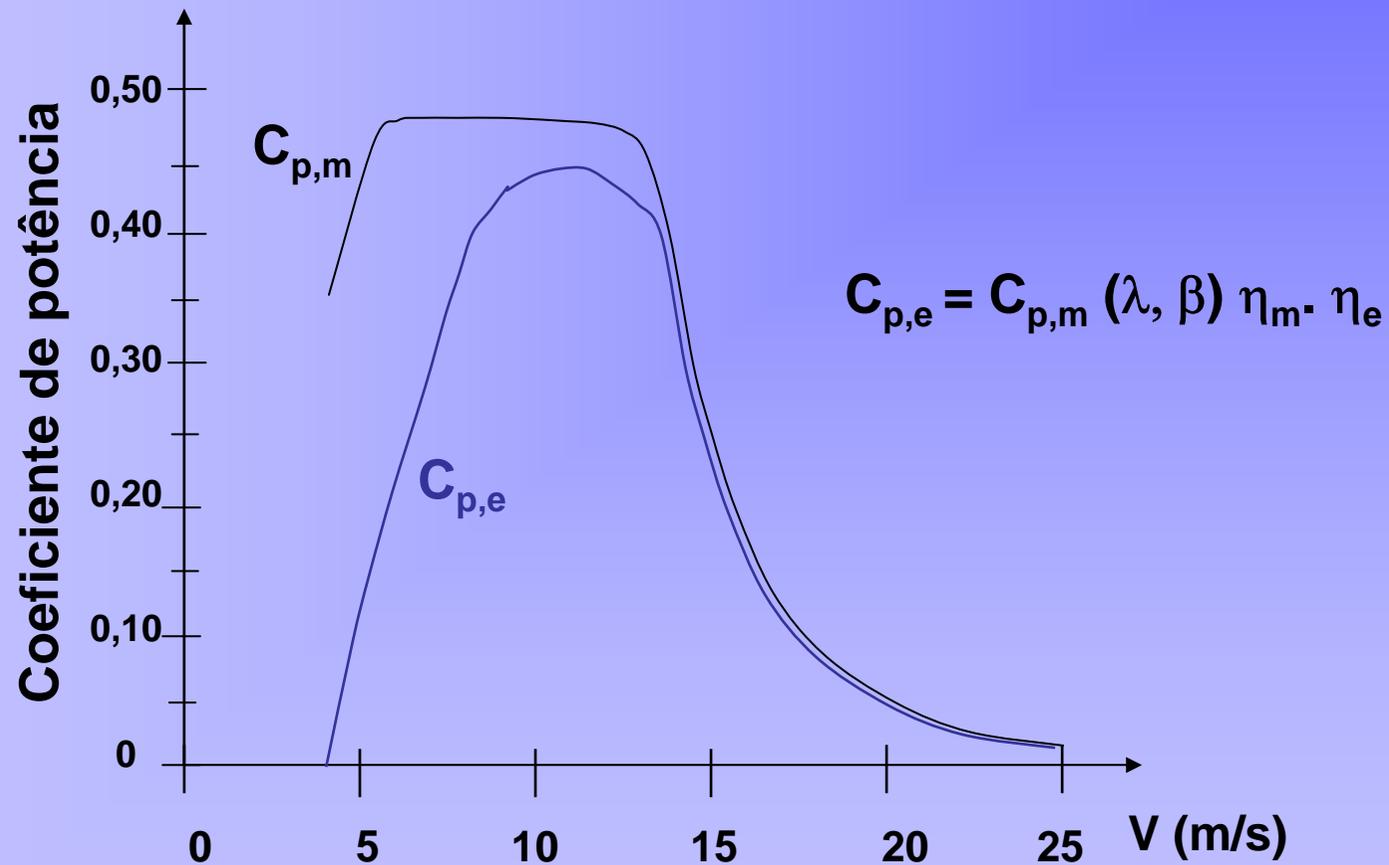
$Re = 1,5 \times 10^6$



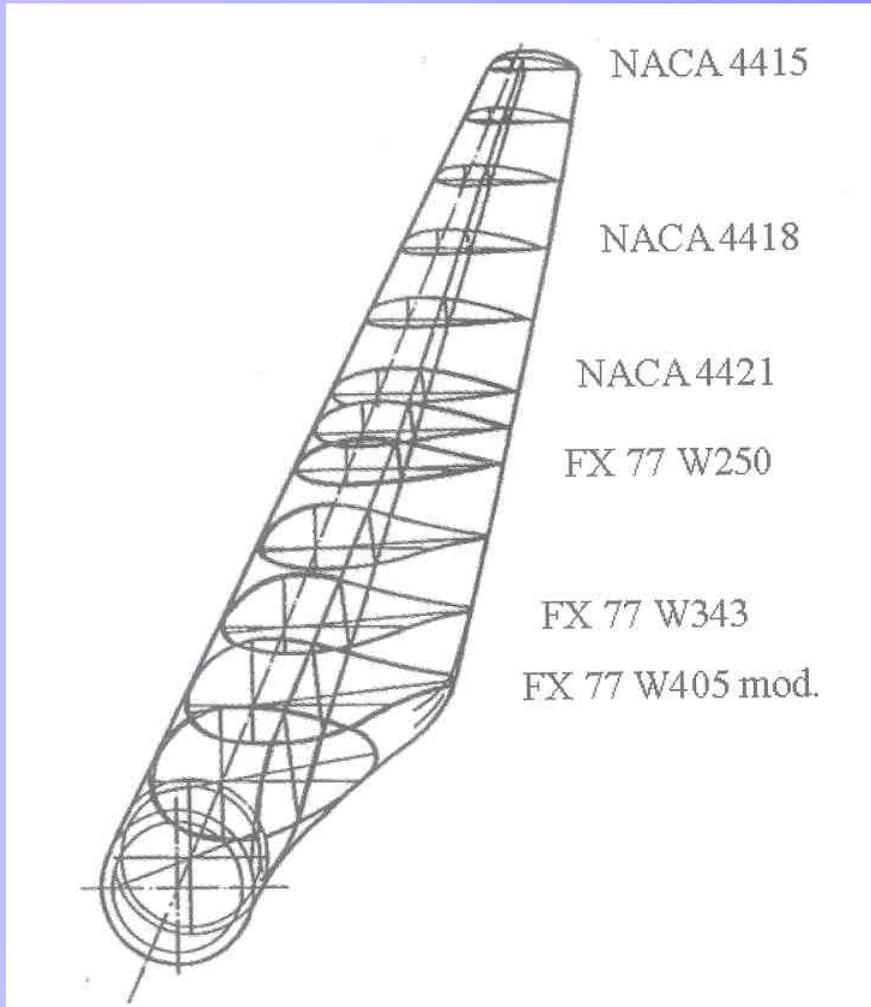
Condição de Kutta-Jukovsky



Coeficientes de Potência Mecânico e Elétrico



Pá com vários perfis aerodinâmicos

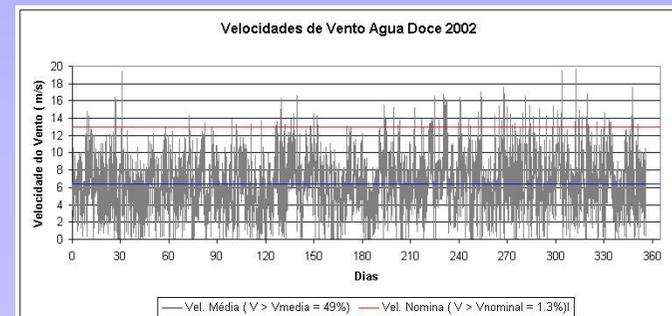
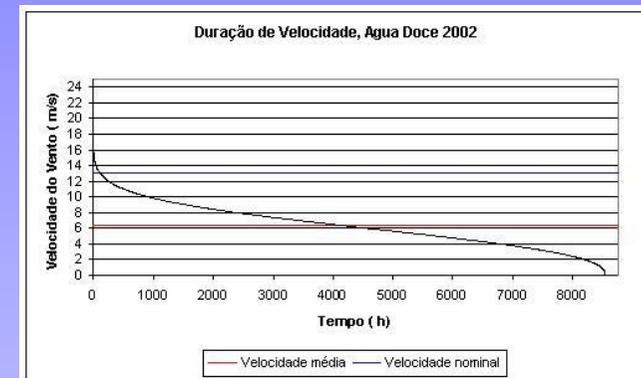
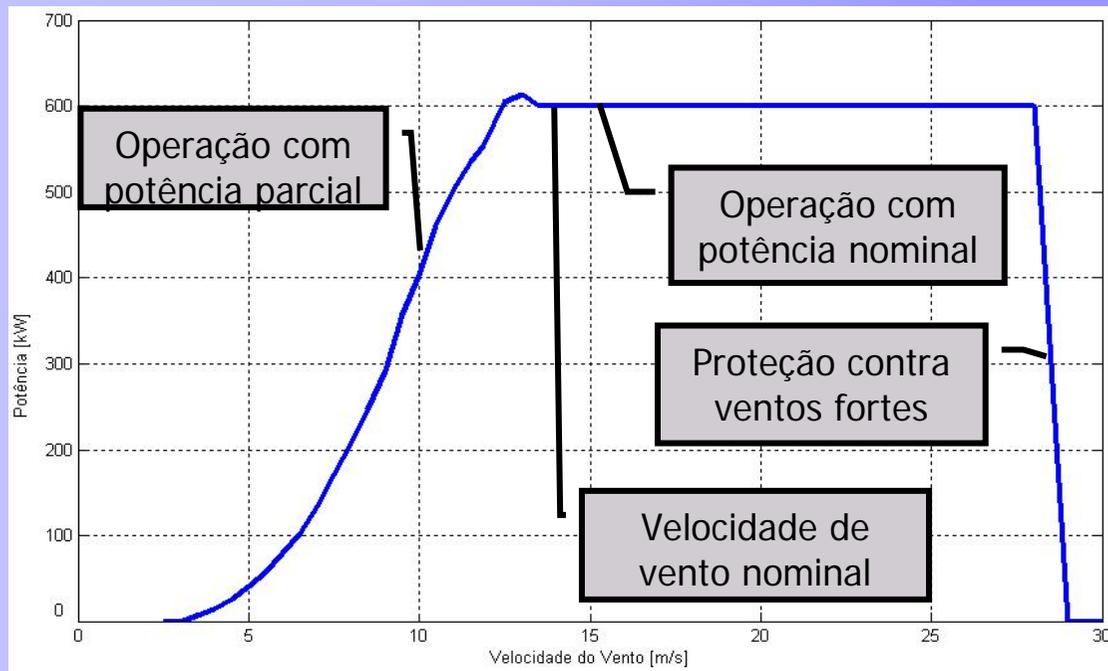


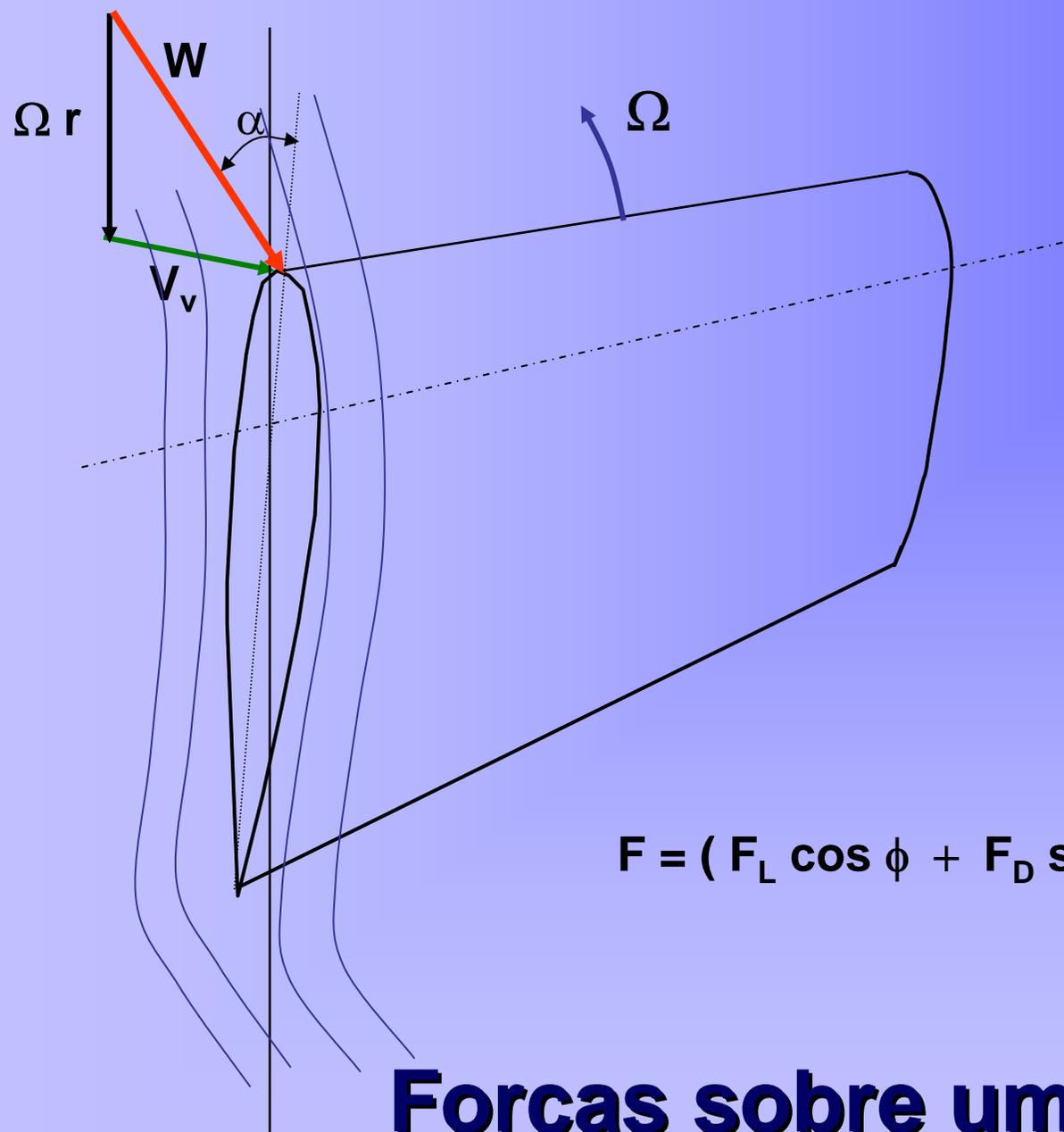
Por que controlar a velocidade de um aerogerador?

**Para proteger o gerador elétrico
e os elementos mecânicos do AG.**

Lembrete

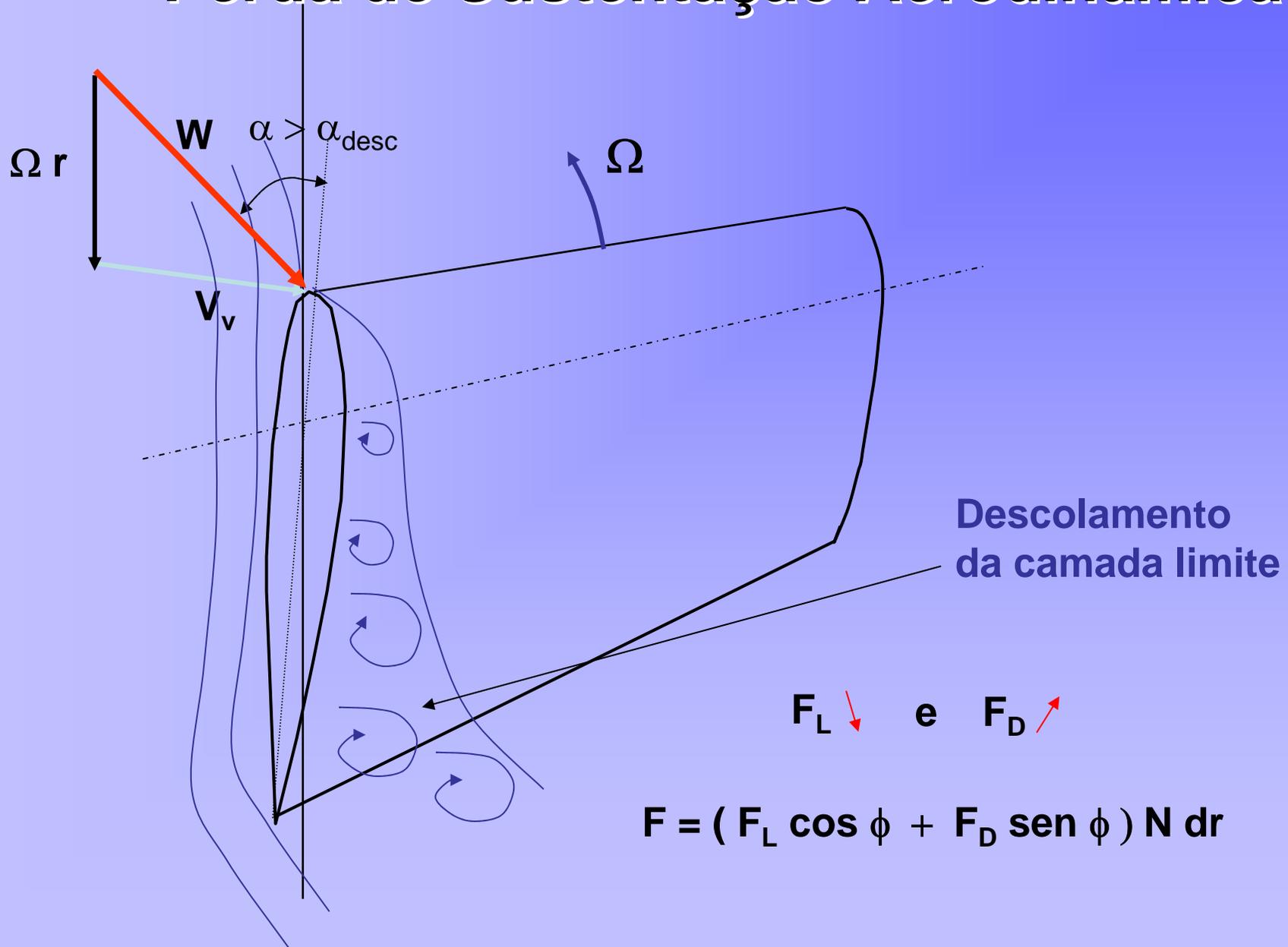
- Na maior parte do tempo, o AG operará com carga parcial (abaixo da sua potência nominal)
- A velocidade do vento, na maior parte do ano será menor do que a nominal.





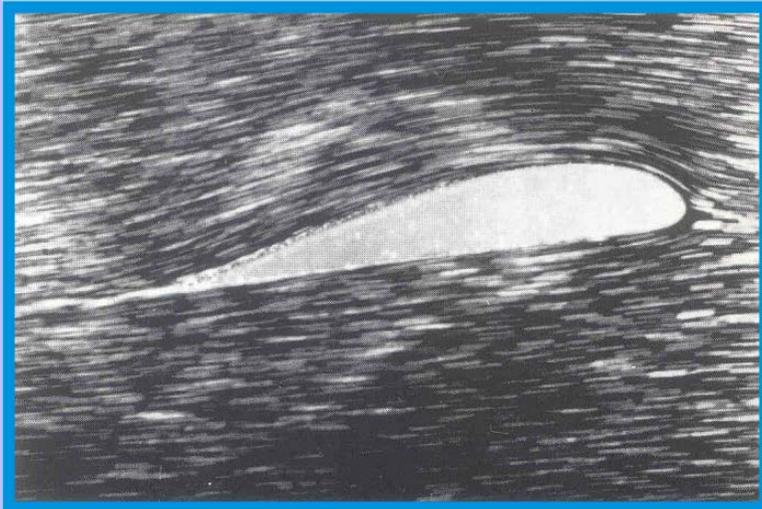
Forças sobre um perfil da pá

Perda de Sustentação Aerodinâmica

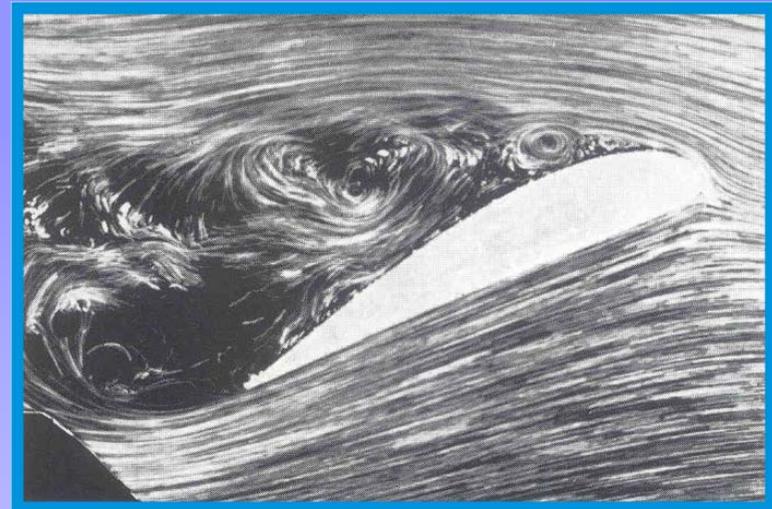


Descolamento da Camada Limite

Ângulo de STALL



pequeno α

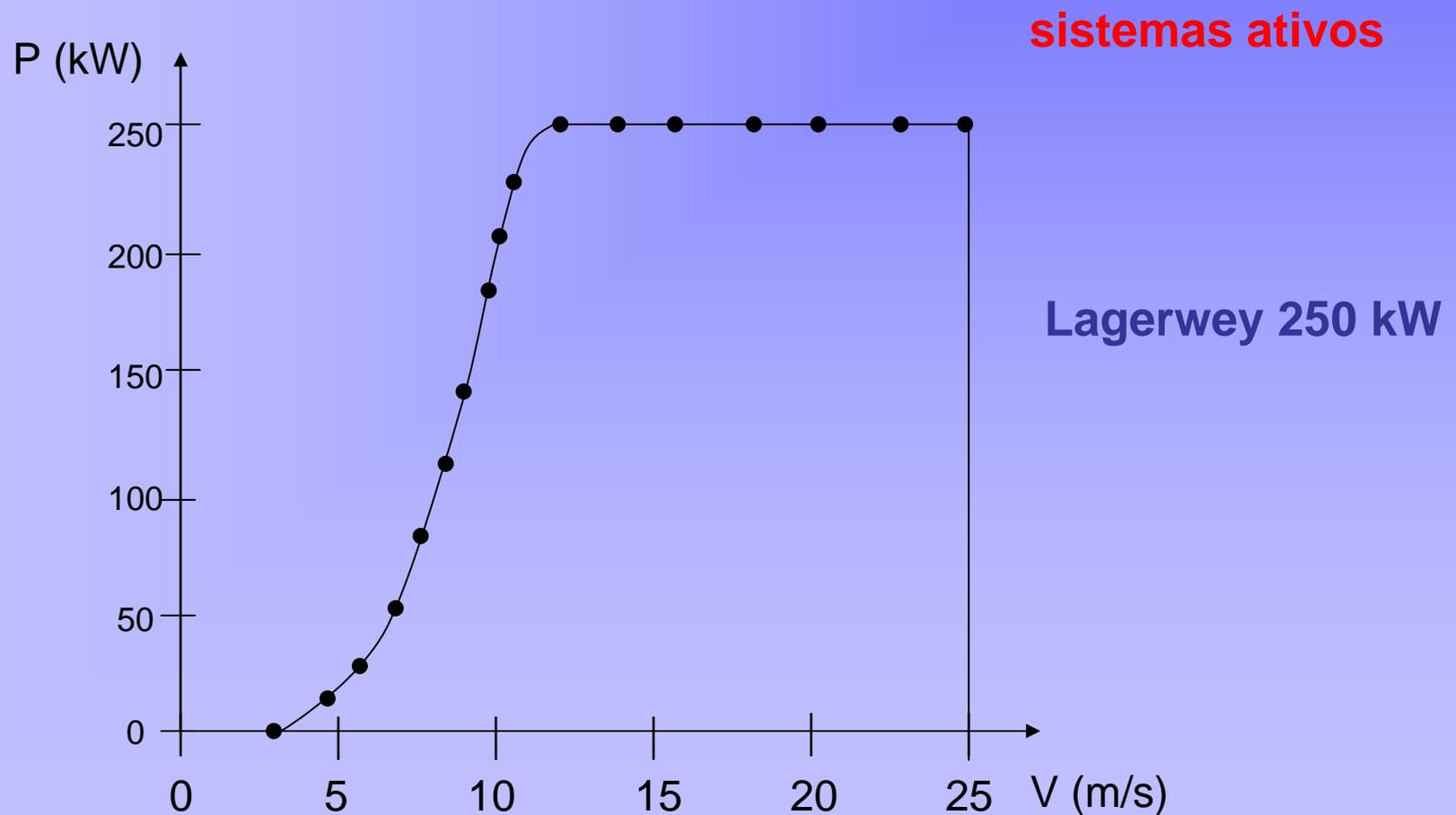


grande α
descolamento da camada limite

F_d ↑ F_L ↓

Tipos de máquinas (1)

AG com controle de passo ("pitch control")



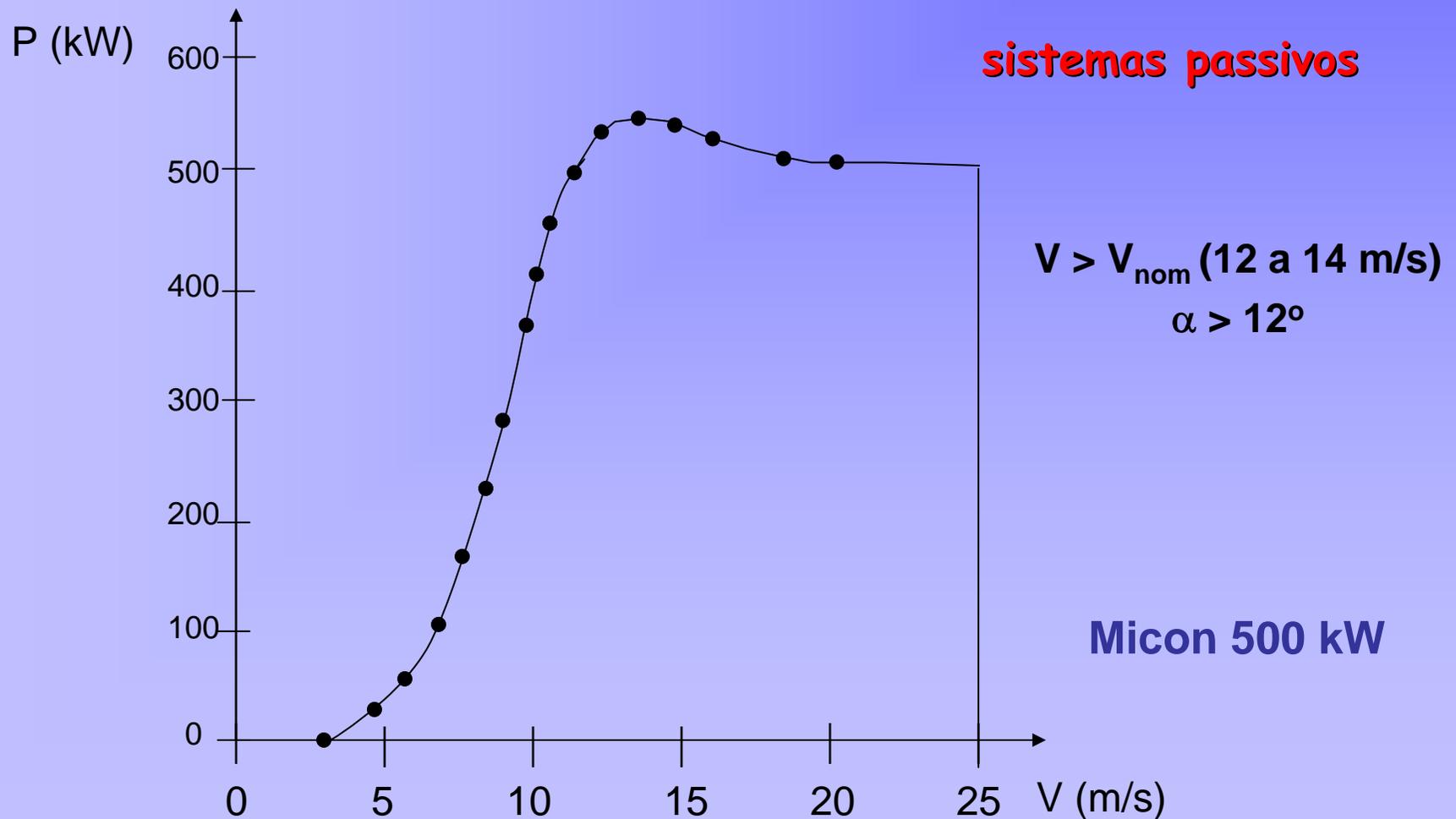
Objetivos dos Sistemas Ativos de Controle de Potência

Sistema ativo de rotação das pás

- Limitação da potência;
- Controle da velocidade e da aceleração no arranque (ou partida);
- Otimização da potência desenvolvida pela turbina durante o modo de operação à carga parcial.

Tipos de máquinas (2)

AG com passo de pá fixo (“stall control”)



Bibliografía

1. J. L. Rodríguez Amenedo, J. C. Burgos Díaz, S. Arnalte Gómez, *Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica*, Editorial Rueda S. L., Madrid, 2003.
(disponible na BU-UFSC)
2. J. M. De Juana (coord.), *Energías Renovables para el Desarrollo*, CI, Thomson Editores Spain, Madrid, España, 2003.