

Fontes Renováveis Não-Convencionais

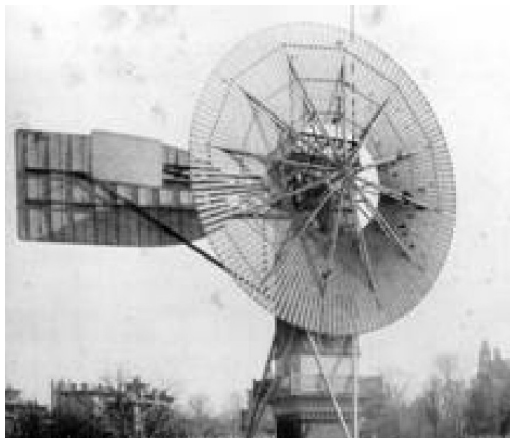
Parte I

Prof. Antonio Simões Costa

Labspot - EEL

Desenvolvimento Histórico da Energia Eólica (1)

- Primeira turbina para produzir energia elétrica construída por Charles F. Brush, em Cleveland, Ohio, EUA, em 1888;
- 12 kW;
- **Objetivo:** gerar eletricidade para carregar baterias localizadas no porão da mansão do proprietário.



Desenvolvimento Histórico da Energia Eólica (2)

- Primeira turbina para produzir energia elétrica na Europa: construída por Poul la Cour na Dinamarca, em 1891;
 - Eletricidade gerada pela turbina utilizada para eletrólise da água, para assim obter hidrogênio;
 - Hidrogênio então utilizado para alimentar lâmpadas a gas da escola local.



Desenvolvimento Histórico da Energia Eólica (3)

- Primeiros sistemas eólico-elétricos construídos nos EUA no final dos anos 1890;
- Nas décadas de 1930/1940, uso de energia eólica era comum nos EUA para bombeamento de água e também geração de energia elétrica;
- Interesse na energia eólica declinou com a expansão das redes de concessionárias de energia elétrica e consequente aumento da confiabilidade de suprimento e redução de preço da eletricidade;
- Onda de interesse ressurgiu nos anos 1970 com a crise do petróleo, mas cessou por falta de incentivos fiscais;
- O interesse mundial foi retomado a partir dos anos 1990.



Viabilidade do aproveitamento da energia eólica (1)

- Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 m;
- Isto requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (GRUBB; MEYER, 1993);
- Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m;
- Essa proporção varia muito entre regiões e continentes, chegando a 32% na Europa Ocidental (ver tabela).

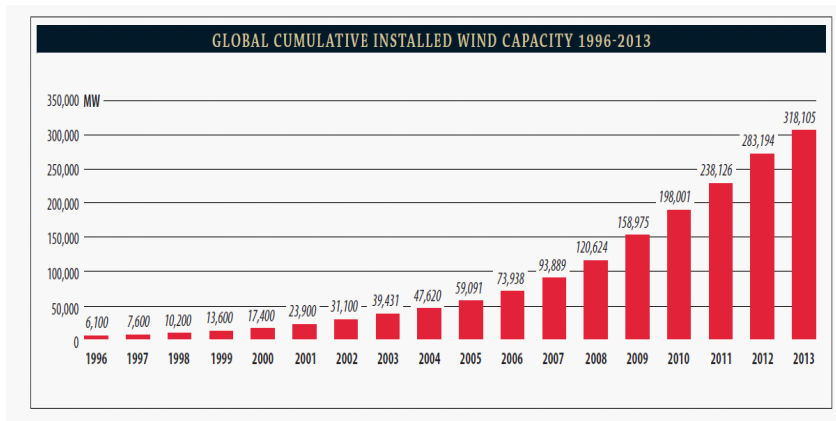
Viabilidade do aproveitamento da energia eólica (2)

TABELA 6.1 Distribuição da área de cada continente segundo a velocidade média do vento

Região/Continente	Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura					
	6,4 a 7,0		7,0 a 7,5		7,5 a 11,9	
	(10 ² km ²)	(%)	(10 ² km ²)	(%)	(10 ² km ²)	(%)
África	3.750	12	3.350	11	200	1
Austrália	850	8	400	4	550	5
América do Norte	2.550	12	1.750	8	3.350	15
América Latina	1.400	8	850	5	950	5
Europa Ocidental	345	8,6	416	10	371	22
Europa Ocidental & ex-URSS	3.377	15	2.260	10	1.146	5
Ásia (excluindo ex-URSS)	1.550	6	450	2	200	5
Mundo	13.650	10	9.550	7	8.350	6

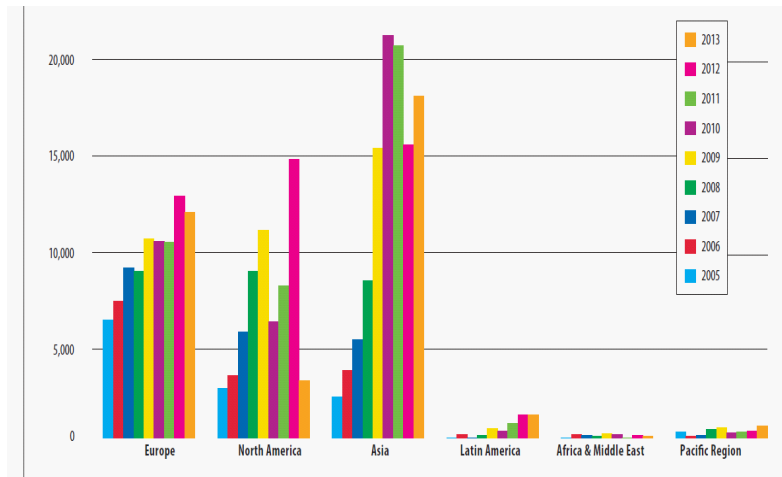
Fonte: GRUBB, M. J. MEYER, N. I. Wind energy: resources, systems and regional strategies. In: JO-HANSSON, T. B. et. al. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, D.C.: Island Press, 1993. p.

Capacidade eólica instalada global

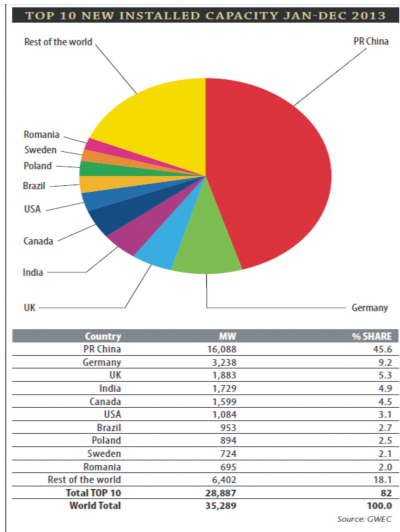
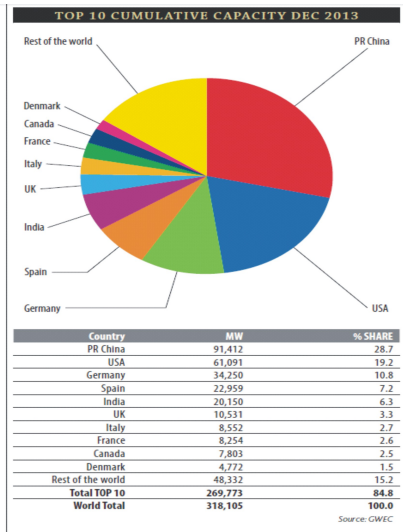


- Capacidade de geração elétrica total instalada no mundo em 2013 era de 4500 GW \Rightarrow capacidade de geração eólica (\approx 250 GW) corresponde a 5,6% do total.

Aumento da capacidade eólica instalada por região

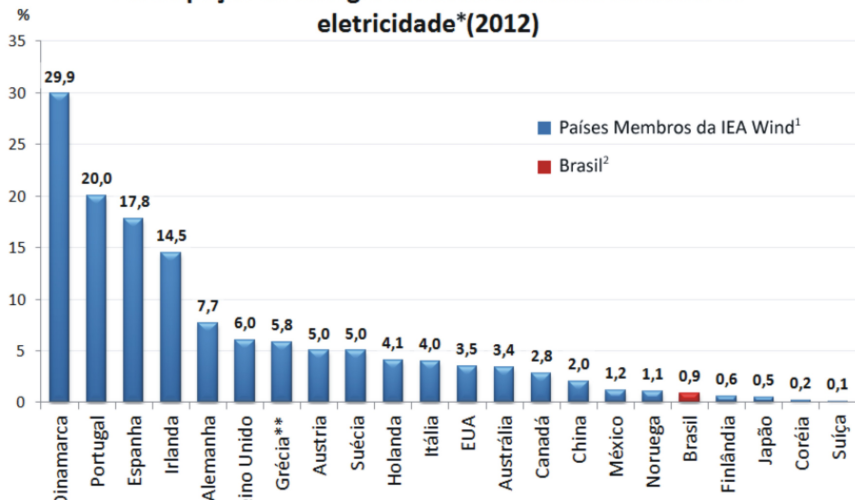


Os dez países com maior capac. eólica instalada (2013)



Participação da energia eólica na matriz elétrica mundial

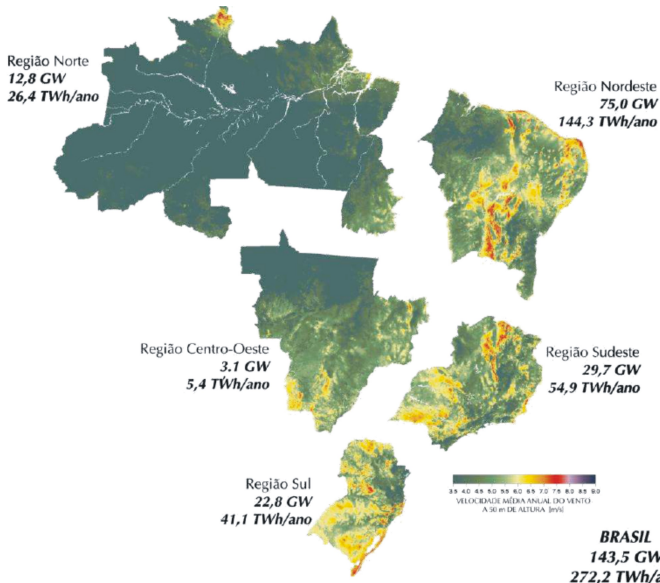
Participação da energia eólica na demanda Nacional de eletricidade*(2012)



Evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil



Potencial eólico brasileiro



Usinas eólicas do Brasil

- As 5 maiores usinas eólicas no Brasil:

As 5 Maiores Usinas Eólicas em Operação			
Usina	MW	Proprietário	Município
Praia Formosa	105,0	Eólica Formosa Geração e Comercialização de Energia S.A.	Camocim - CE
Alegria II	100,6	New Energy Options Geração de Energia S/A	Guamaré - RN
Parque Eólico Elebrás Cidreira 1	70,0	Elebrás Projetos S.A	Tramandaí - RS
Canoa Quebrada	57,0	Bons Ventos Geradora de Energia S.A.	Aracati - CE
Eólica Icaraizinho	54.6	Eólica Icaraizinho Geração e Comercialização de Energia S.A.	Amontada - CE

Empreendimentos de Geração Eólica		
# Projetos	Situação Atual	Potência [MW]
197	Outorgado	5.247,4
93	Em construção	2.346,5
96	Em operação	2.109,3

- Geração Eólica total (2.109 MW) corresponde a 1,7% da Capacidade Instalada no Brasil.

Parques eólicos de grande porte no Brasil



Mucuripe – 2,4 MW (Fortaleza, CE)



Osório – 50 MW (Osório, RS)



RN 15 – 49,3 MW (Rio do Fogo, RN)



Paracuru – 23,5 MW (Paracuru, CE)

Aplicações de aerogeradores



Pequeno Porte (≤ 10 kW)

- Residências
- Fazendas
- Aplicações Remotas



Intermediário (10-250 kW)

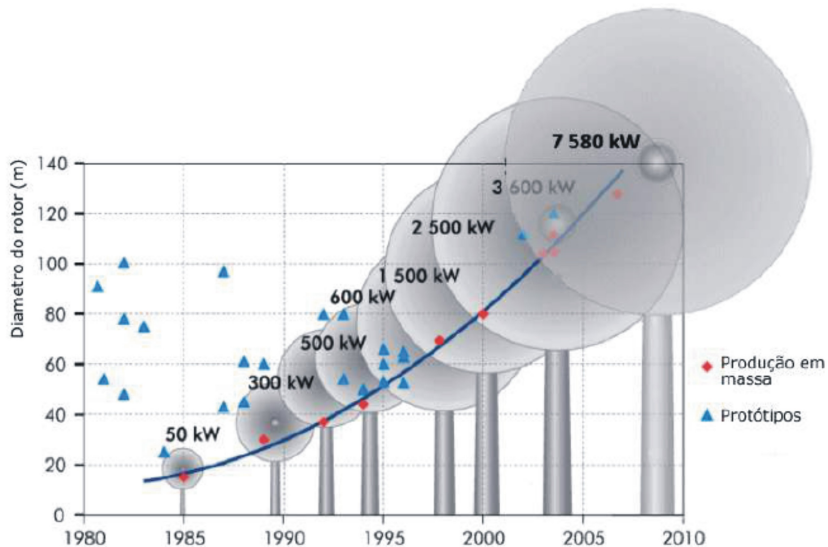
- Sistemas Híbridos
- Geração Distribuída



Grande Porte (250 kW - 5+MW)

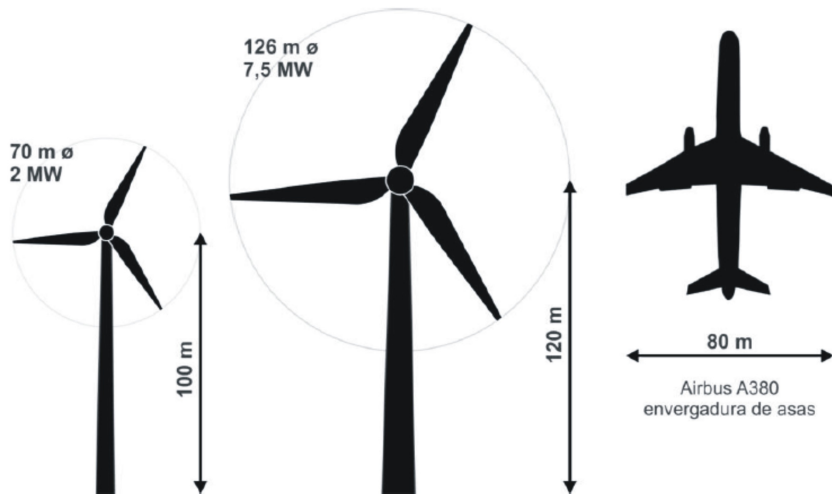
- Parques Eólicos
- Geração Distribuída

Evolução da potência dos aerogeradores



Fonte: Agência Internacional de Energia (IEA)

Aerogeradores modernos



Tipos de turbinas eólicas

- Diferentes terminologias: *gerador com acionamento eólico, gerador eólico, turbina eólica, turbogerador eólico (WTG), sistema de conversão de energia eólica (WECS)*;
- Podem ser de *eixo horizontal (“HAWT”)* ou de *eixo vertical (“VAWT”)*;
- Grupos de geradores eólicos são organizados em *parques eólicos*.

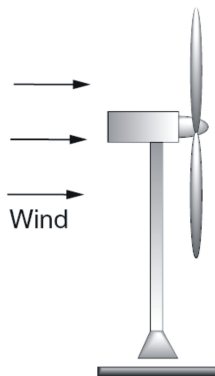
Turbinas eólicas de eixo vertical

- Rotor *Darrieus*: único gerador eólico de eixo vertical que obteve algum sucesso comercial;
- Ao atingir as pás verticais, chamada de *aerofólios*, o vento gera um “empuxo” que gera rotação;
- nenhum controle de *guinada* (“yaw”) é necessário para manter rotor face ao vento;
- *Vantagem*: maquinário pesado da *nacele* pode ficar no solo, ou no topo de uma edificação;
- *Desvantagem*: rotor fica mais próximo ao solo, onde as velocidades do vento são menores, do que as turbinas HAWT.



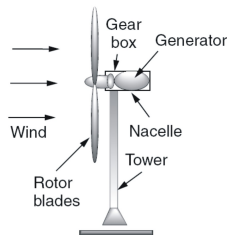
Turbinas eólicas de eixo horizontal (1)

- Turbina HAWT “*downwind*”: pás ficam “atrás” (isto é, a jusante) da torre;
- Nenhum controle de guinada é necessário, pois as pás se orientam em linha com o vento de forma automática;
- *Efeito de sombreamento*: quando a pá passa por trás da torre o vento que chega até ela é brevemente reduzido em intensidade, e a pá flexiona \Rightarrow aumento de fadiga mecânica e ruído, redução de potência de saída.



Turbinas eólicas de eixo horizontal (2)

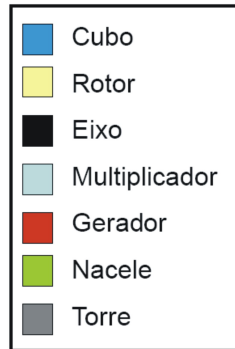
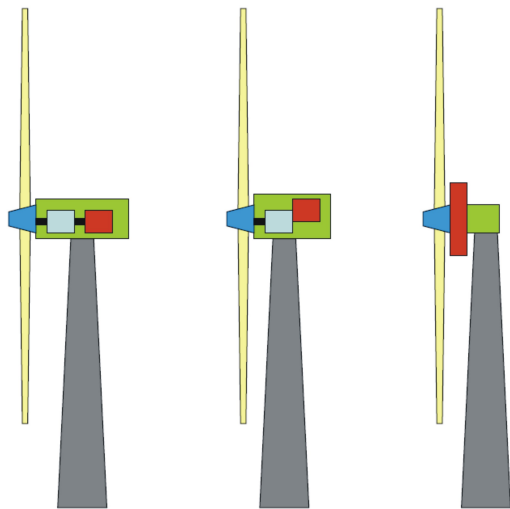
- Turbina HAWT “*upwind*”: pás estão sempre “à frente da” (isto é, a montante em relação à) torre;
- A maior parte das turbinas modernas são deste tipo;
- Requer controle de guinada razoavelmente complexo para manter pás “de cara” para o vento:
 - Necessário determinar o sentido do vento antes que pás iniciem a girar;
 - Maiores turbinas são da ordem de 6 MW, sendo 1,5 MW o projeto mais comum.



Número de pás de turbinas eólicas

- Cataventos tradicionais, usados para outras aplicações (p.ex., bombeamento d'água) contêm múltiplas pás:
 - Necessidade de alto torque de partida para vencer peso e atrito do pistão da bomba;
 - Deve operar a baixas velocidade de vento para operação contínua;
 - Apresenta área maior ao vento (para alto torque e baixa velocidade).
- Turbinas com múltiplas pás operam a baixa velocidade: quando velocidade aumenta, turbulência causada por uma pá impacta outras pás;
- Para geração de eletricidade, maiores velocidades implicam em geradores de menor tamanho físico;
- Turbinas eólicas para geração elétrica tem duas ou *três* (*movimento mais suave, menor impactos mecânicos*) pás.

Configurações de aerogeradores



Princípio de funcionamento de um aerogerador

