Energia Eólica

Gestão de Sistemas Eléctricos com Elevada Integração de Geração Eólica

J. A. Peças Lopes

Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

Introdução

- **A integração de elevados níveis de geração eólica nos sistemas eléctricos têm impactos na gestão do sistema:**
  - Dificuldades para a operação dos mercados de electricidade;
  - Dificuldades na definição da escala de serviço dos grupos convencionais e no despacho da produção;
  - Dificuldades na validação das condições de exploração da rede;
  - Dificuldades na definição dos níveis de reserva operativa do sistema em cada área de controlo.
  - Problemas para a segurança de abastecimento.

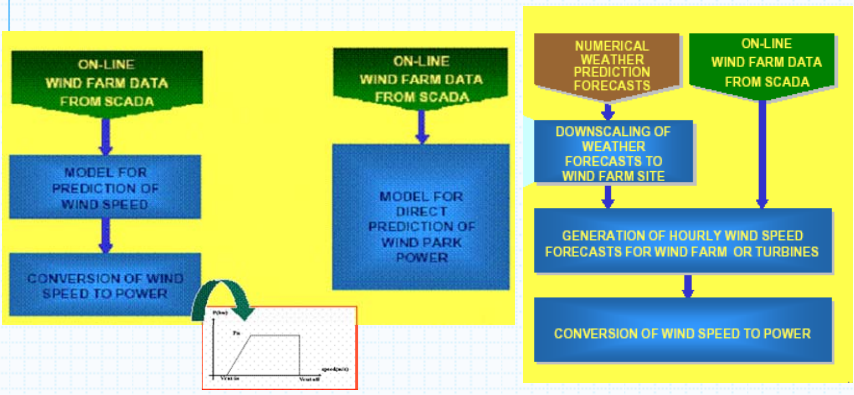
Incertezas associadas ao recurso primário

Dificuldades da Operação dos Mercados Diários

- **O desconhecimento do valor da produção eólica ou a incerteza no seu valor dificultam o fecho dos mercados**

Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **Utilização de ferramentas de previsão de produção eólica:**
  - Diferentes horizontes temporais

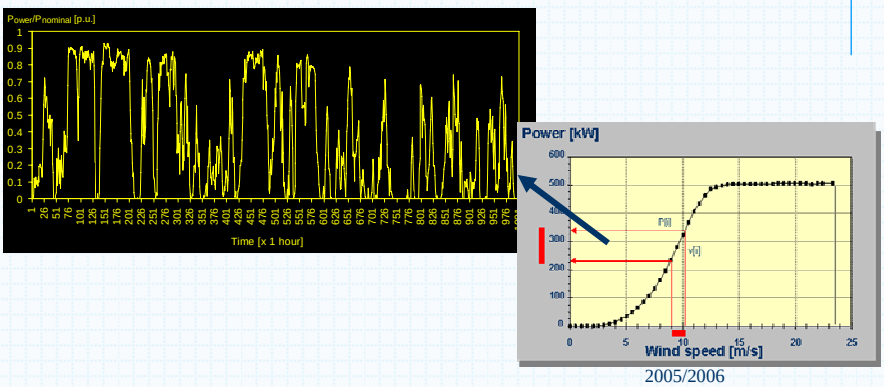


Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **Horizontes de previsão:**
- (Depende do sistema eléctrico e da disponibilidade de dados).
  - **Alguns s/min :** com o objectivo de fazer o controlo das TE.
  - **0 horas :** *nowcasting* (estimativa da produção renovável) para sistemas onde nem todos os parques eólicos são visíveis através de SCADA.
  - **1-6 horas** (fundamental para redes isoladas de pequena dimensão) Permite a gestão de unidades convencionais rápidas.
  - **1-72 horas: para sistemas interligados com grandes parques eólicos** (exige a disponibilidade de NWPs).
  - **1-7 dias**: para planeamento da manutenção (muito útil para parques offshore).
  - **>7 dias:** para gestão de recursos hídricos.

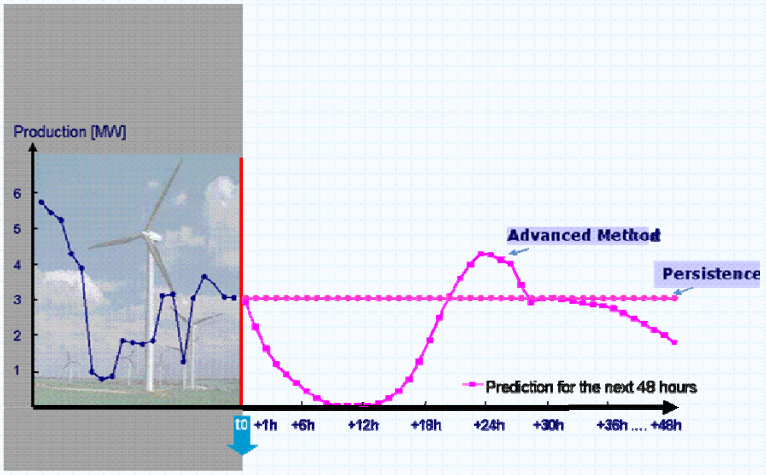
Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **A previsão da PE é um problema complexo**
  - As séries temporais de Produção eólica apresentam uma natureza caótica resultante do comportamento do vento e das não linearidades introduzidas pela curva de potência.



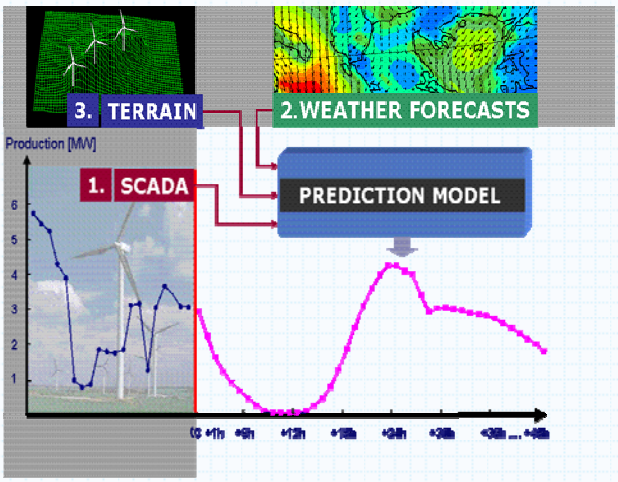
Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **O príncípio**



Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **O princípio**

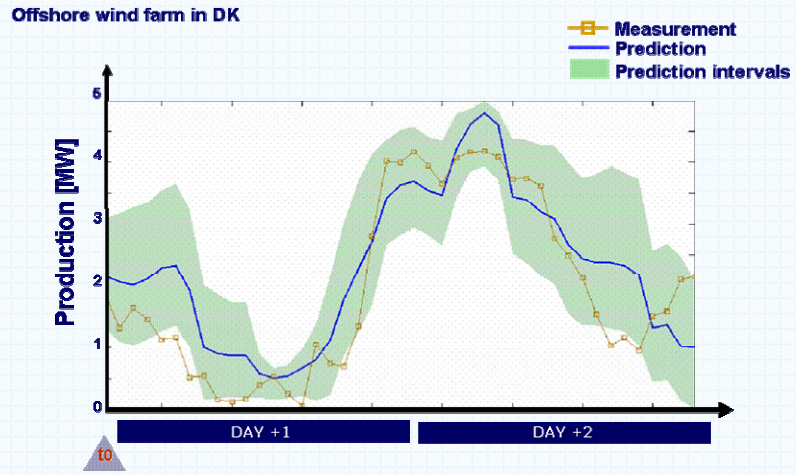


Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **Modelizações do problema (2 linhas de trabalho):**
  - **Tratamento estatístico**:
    - Modelos tentam inferir comportamentos a partir de dados disponíveis, (*técnicas de AI* podem ser utilizadas)
  - **Tratamento físico:**
    - Utilização de modelos que descrevem as leis físicas de escoamento dos fluídos nos terrenos dos parques.

Soluções – Previsão de Geração Eólica

Um exemplo do tipo de resultados



Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **Dados necessários para a previsão da geração eólica:**
  Dados estáticos
- Modelo do terreno (3 para modelos físicos, 0 para estatísticos)
  - Mapas de orografia
  - Mapas de rugosidade
- Layout do parque eólico (3 para modelos físicos, 0 para estatísticos)
- Características das turbinas eólicas (Nominal, curva de potência (3))
- Coordenadas geográficas dos parques eólicos (3)
- Definições de Upscaling/downscaling (3)
- Definição de agrupamentos (i.e. classificação dos parques eólicos por região).

Estes dados podem ser classificados como (**3**: Obrigatórios, **2**: Importantes, **1**: Opcionais).

MEEC / MEM– Energias Renováveis
Energia Eólica

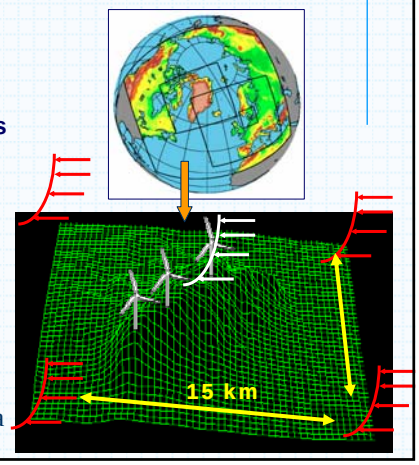
Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **Dados necessários para a previsão da geração eólica:**
  - Real-Time Data (SCADA) :
    - Produção do parque eólico (**3**)
    - Disponibilidade dos aerogeradores (**3**)
    - Informação sobre eventuais limitações de potência das turbinas (3)
    - Produção por turbina (MW) (1-2)
    - Velocidade de vento (3 para físico, 0-2 para estatístico)
    - Direcção do vento (2-3 para físico, 0-2 para estatístico)
    - Temperatura (1)
    - Pressão atmosférica (1)
    - Humidade (1)
  - **É interessante poder dispor de dados históricos das mesmas variáveis para calibração**

2005/2006

Soluções – Previsão de Geração Eólica

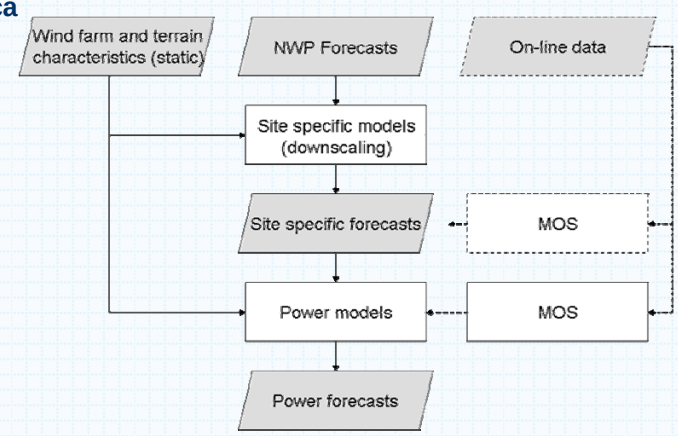
- **Previsões Numéricas do Tempo**
  - **Disponibilizadas por um serviço meteorológico (via contrato)**
  - **Horizonte: até 2-5 dias**
  - **Frequência de refrescamento: 1- 4 vezes por dia**
  - **Resolução temporal: 1 ou 3 horas**
  - **Variáveis: (10m)**
    - Velocidade do vento (3)
    - Direcção do vento (3)
    - Temperatura (1-2)
    - Pressão atmosférica (1-2)
    - Humidade (1-2)
  - **Resolução espacial: entre 5-30 km.**



Modelos de mesoscala

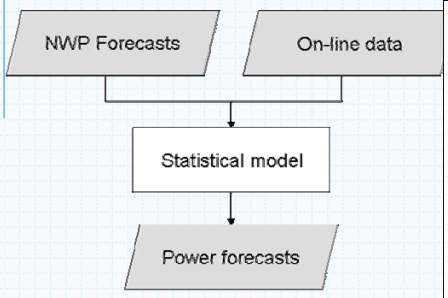
Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **Diagrama global para um sistema de previsão de base física**



Soluções – Previsão de Geração Eólica

- **Diagrama global dos modelos estatísticos**



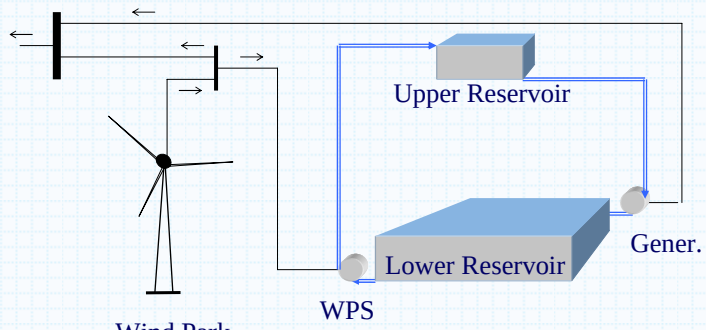
$$\hat{p}_{t+k/t} = f\big(\mathbf{p}_t, \hat{u}_{t+k/t_{NWP}}, \hat{\theta}_{t+k/t_{NWP}}, \hat{\mathbf{x}}_{t+k/t_{NWP}}\big) \quad (7)$$

where:

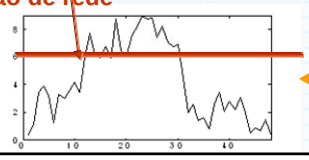
- $\hat{p}_{t+k/t}$ is the power forecast for time $t+k$ made at time t,
- $\mathbf{p}_t$ are the past production measures at time t. Additionnaly, measured values of wind speed, direction, etc. can be added,
- $\hat{u}_{t+k/t_{NWP}}$ is the NWP wind speed forecast for time $t+k$ made at time t_{NWP},
- $\hat{\theta}_{t+k/t_{NWP}}$ is the NWP wind direction forecast for time $t+k$ made at time t_{NWP},
- $\hat{\mathbf{x}}_{t+k/t_{NWP}}$ stands for the other available NWP variables forecast at time t_{NWP} for time $t+k$,

Soluções – Armazenamento

- **O conceito**



Restrição de rede



Previsão da produção eólica

Soluções – Armazenamento

- **Objectivos**:
  - Reduzir a variabilidade da produção eólica (dentro de uma escala temporal de horas / 1 dia);
  - Aumentar os benefícios económicos dos promotores dos investimentos eólicos;
  - Ajudar na gestão de restrições temporárias (ou não) de rede.

- **Problemas**
  - Definir o volume de armazenamento
  - Definir as potências dos grupos
  - Definir a estratégia de operação

Soluções – Armazenamento

- **Problema da gestão dos ciclos de bombagem armazenamento**

Optimisation Problem

Max. $\sum_i \left(c_i P_i - cp\, Pp_i \right)$ ← Output Wind-Hydro Generation and Pump Costs

$P_i = Pw_i + Ph_i$ ← Output Bus Balance

$Pv_i = Pw_i + Pp_i + P_{Di}$ ← Wind Bus Balance

$E_{i+1} = E_i + t \left(\eta_p Pp_i - \frac{Ph_i}{\eta_h} \right)$ ← Energy Reservoir Balance

$E_1 = E_1^{esp}$
$E_{n+1} = E_{n+1}^{esp}$ ← Initial and Final Reservoir Conditions

$P_i^L \le P_i \le P_i^U$ ← Output Generation Limits

$Pg^m \le (Pw_i + Pp_i) \le Pg^M$ ← Wind Park Generation Limits

$Ph^m \le Ph_i \le \min\left(Ph^M, \eta_h \frac{E_i}{t} \right)$ ← Hydro Generation Limits

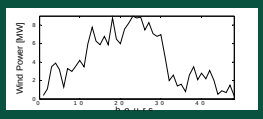
$Pp^m \le Pp_i \le Pp^M$ ← Pump Station Limits

$0 \le E_i \le E^M$
$i = 1, \ldots, n$ ← Stored Energy Reservoir Limits

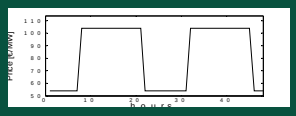
Soluções – Armazenamento

- **Dados do problema**

Inputs



Forecasted Available Wind Power



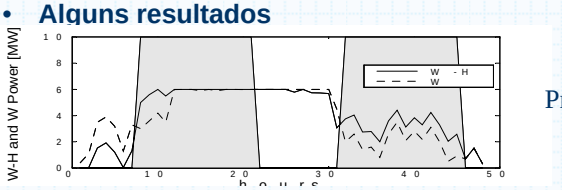
Active Power Price
(Decreto-Lei Nº 168/99 and Decreto-Lei Nº 339-C/2001)

Pg^M [MW]	Ph^M [MW]	Pp^M [MW]	η_L	cp [€/MWh]
11	2	2	0.75	2
E^M [MWh]	E_j^{esp} [MWh]	E_{n+j}^{esp} [MWh]	P^L [MW]	P^U [MW]
22	0	0	0	6.0

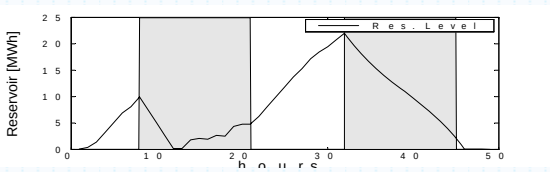
Porto EES/UETP Course – February 2004

Soluções – Armazenamento

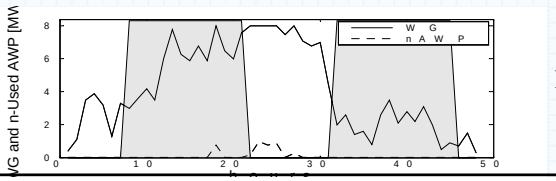
- **Alguns resultados**



Produção total do PE



Armazenamento de energia



Produção eólica total

Segurança de Abastecimento

- **A característica de intermitência do recurso eólico pode trazer problemas à segurança de abastecimento exigindo uma definição de volumes de reserva de longo prazo:**
  - Centrais térmicas convencionais;
  - Centrais com capacidade de armazenamento (hídricas com ou sem bombagem) -> estratégias de gestão de armazenamento combinadas com a previsão da PE.
  - Definir cenários de evolução da procura e da evolução da instalações de novos centros electroprodutores, conhecer séries hidrológicas e de produção eólica.
  - Estudos probalísticos são necessários para avaliar na globalidade do sistema produtor índices do tipo:
    - **LOLE (Loss of load expectation)**
    - **LOLP (Loss of load probability)**

Conclusões

- **A gestão de sistemas eléctricos com grande integração da geração eólica exige a disponibilidade de ferramentas de previsão de produção eólica .**
- **A utilização de investimentos e de estratégias de armazenamento de energia são cruciais para permitir a integração de geração eólica nos sistemas.**