



A previsão Meteorológica para Portugal feita no IST (<http://meteo.ist.utl.pt>)

Potencial utilização em:

- Previsão da produção de energia eólica e minhidricas
- Previsão de consumos de electricidade.
- Trading
- Poluição atmosférica com origem nas Centrais Térmicas: efeitos na pequena e grande escala



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Modelo MM5 e WRF

Desenvolvido inicialmente pela Pennsylvania State University -1ª geração (modelo hidrostático) é de 1978

Posteriormente por um consorcio de Universidades e Serviços Nacionais Americanos

A 3ª geração (modelo não hidrostático, versão 3-7) é de Dezembro 2004

Embora de mesoescala o modelo pode ser usado a nivel global

Devido ao sucesso do modelo o número de entidades envolvidas aumentou e desse esforço nasceu o WRF operacional há 2 anos



Características do Modelo

(Modelo não hidrostático)

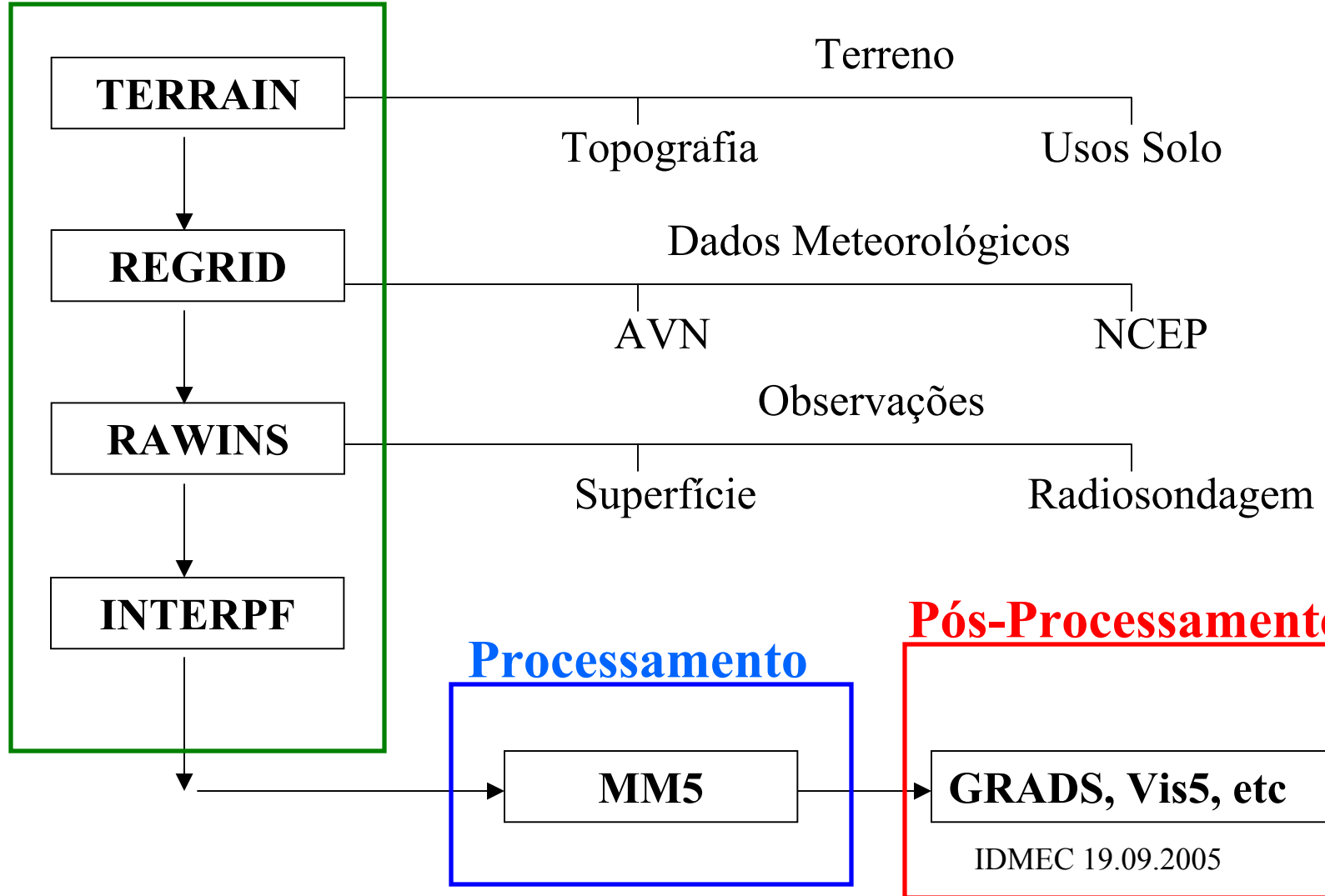
- Resolve as equações de Navier Stokes completas (3D, t, compressíveis)
- 4 Equações de conservação entalpia, humidade, pressão, balanço radiativo, etc)
- Equação de conservação para o solo (temperatura e humidade)
- Sistema de coordenadas segue a topografia



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estrutura do Modelo

Pré-Processamento



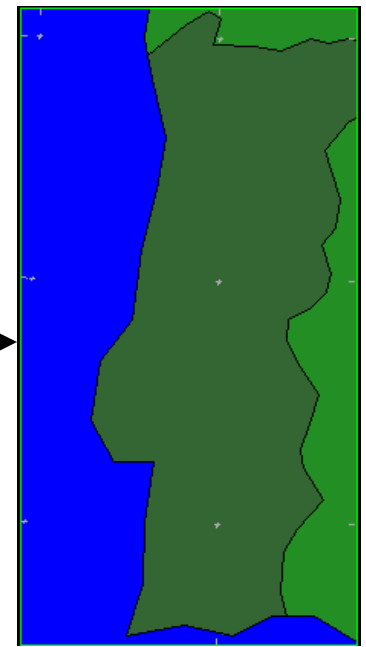
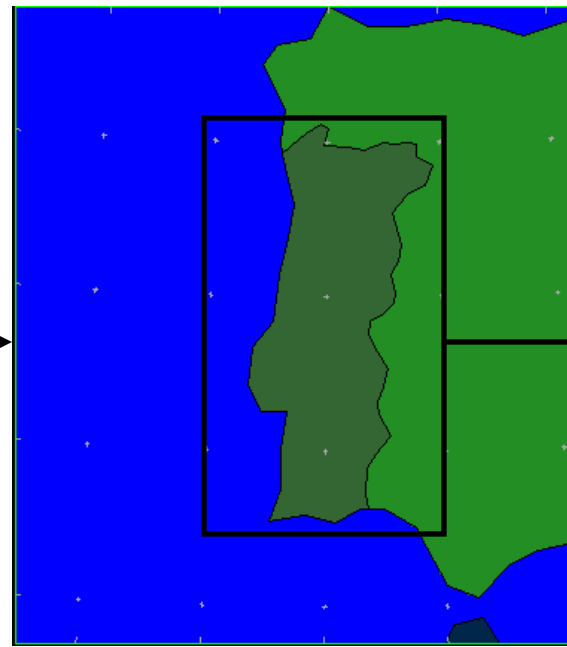
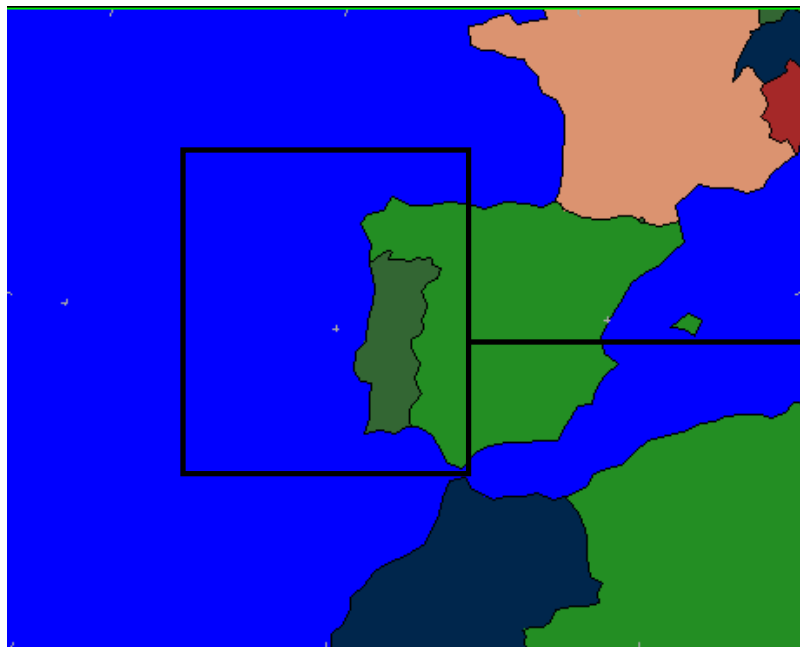
Dados - Terreno

(modelo disponível na internet desde 2001)

Domínio 1

Domínio 2

Domínio 3



Malha: 25×31
81 km

34×31
27 km

64×34
9 km

Resolução dados: 19 km

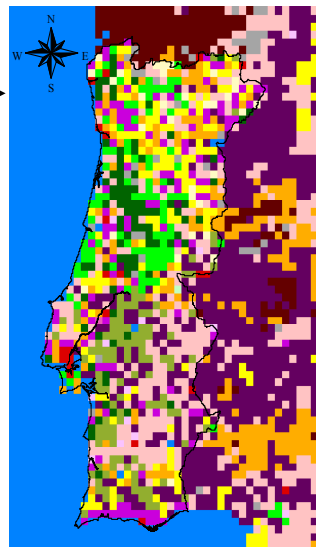
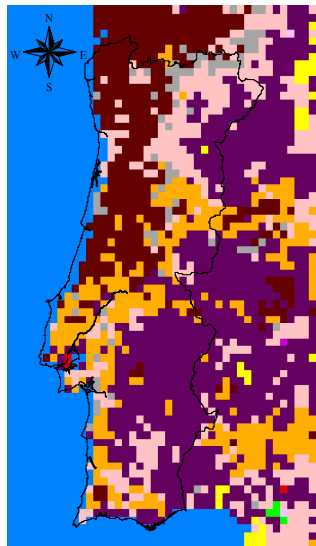
9 km

4 km

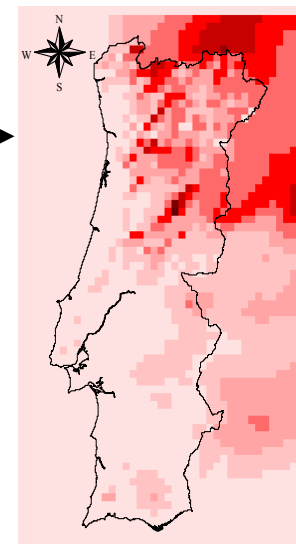
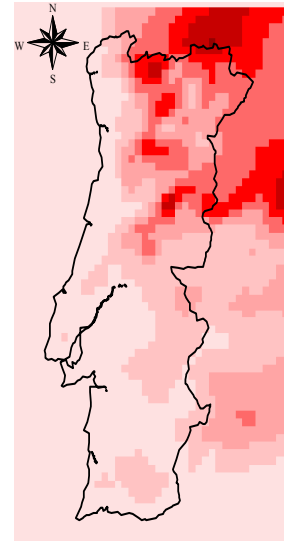
Dados do Terreno

Alterações

Usos do solo



Topografia



00



Dados - Meteorologia

(colaboração do NWS,UCAR,NCAR,NCEP)

- Condições iniciais para todos os domínios.
- Condições fronteira para o domínio maior.
- GFS (Global Forecast System Modelo Global)
 - Resolução espacial de 1° (~ 80 km)
 - Resolução temporal de 3 horas
 - Disponíveis diariamente (4 x dia)
- NCEP (Modelo global de reanálise)
 - Resolução espacial de 2.5° (~ 200 km)
 - Resolução temporal de 12 horas
 - Assimilação muito completa de observações



Portugal - modelo operacional na internet

(em <http://meteo.ist.utl.pt>)

- Obtém (NWS) os dados previsíveis para condições iniciais e fronteira do modelo GFS ~ 4h, 10h, 16h, 22h
- Corre localmente o modelo para os 3 domínios sendo a interacção entre os domínios 2 e 3 com retroacção para as 72 horas seguintes
 - Pode simular até 168 horas
- Disponibilização no site às 8 h, 14h, 20h, 2h
 - Gráficos de temperatura, precipitação, nebulosidade, pressão e linhas de correntes, altura de camada limite, etc.
- As previsões para Madeira e Açores encontram-se em regime experimental (4 dominios 81 ,27, 8, 3 km) IDMEC 19.09.2005



Página Internet

(desde 1 de Fev. 2001)

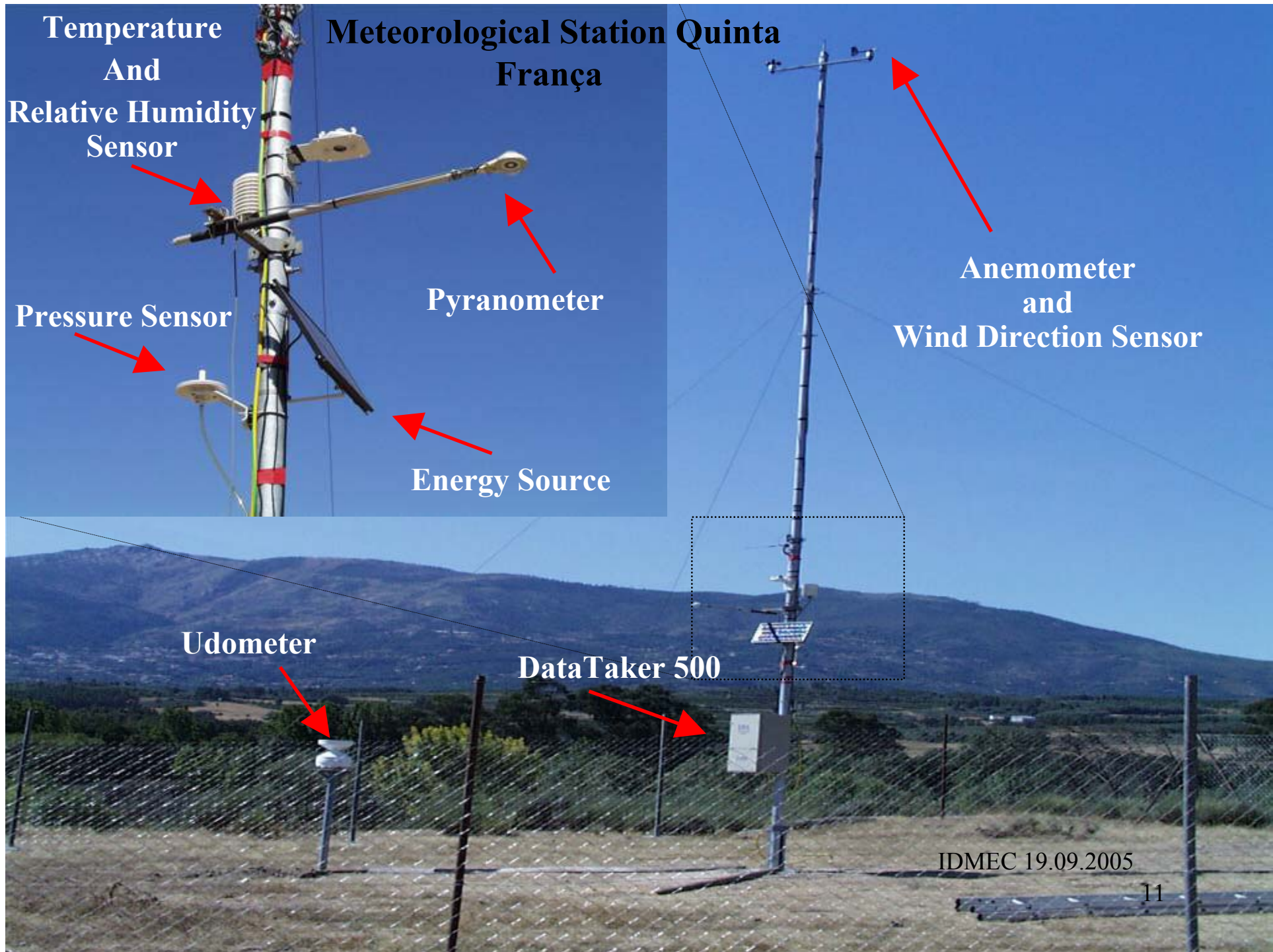
A large, light gray information icon (a lowercase 'i' inside a circle) is centered in the background of the main content area.

<http://meteo.ist.utl.pt>



Observações de rotina

- Observações de Superfície (hora a hora)
 - Temperatura, Humidade relativa, Pressão, Vento, Nebulosidade e Chuva
 - Lisboa, Porto, Faro, Funchal e Ponta Delgada (IM)
 - Todos os aeroportos de Espanha, França, Argélia, Marrocos, Gibraltar
- Radiosondagens (observações em altitude)
 - Temperatura, Humidade relativa, Pressão, Vento
 - De 12 em 12 horas nos principais aeroportos



Meteorological Station Quinta França

**Temperature
And
Relative Humidity
Sensor**

Pressure Sensor

Pyranometer

Energy Source

**Anemometer
and
Wind Direction Sensor**

Udometer

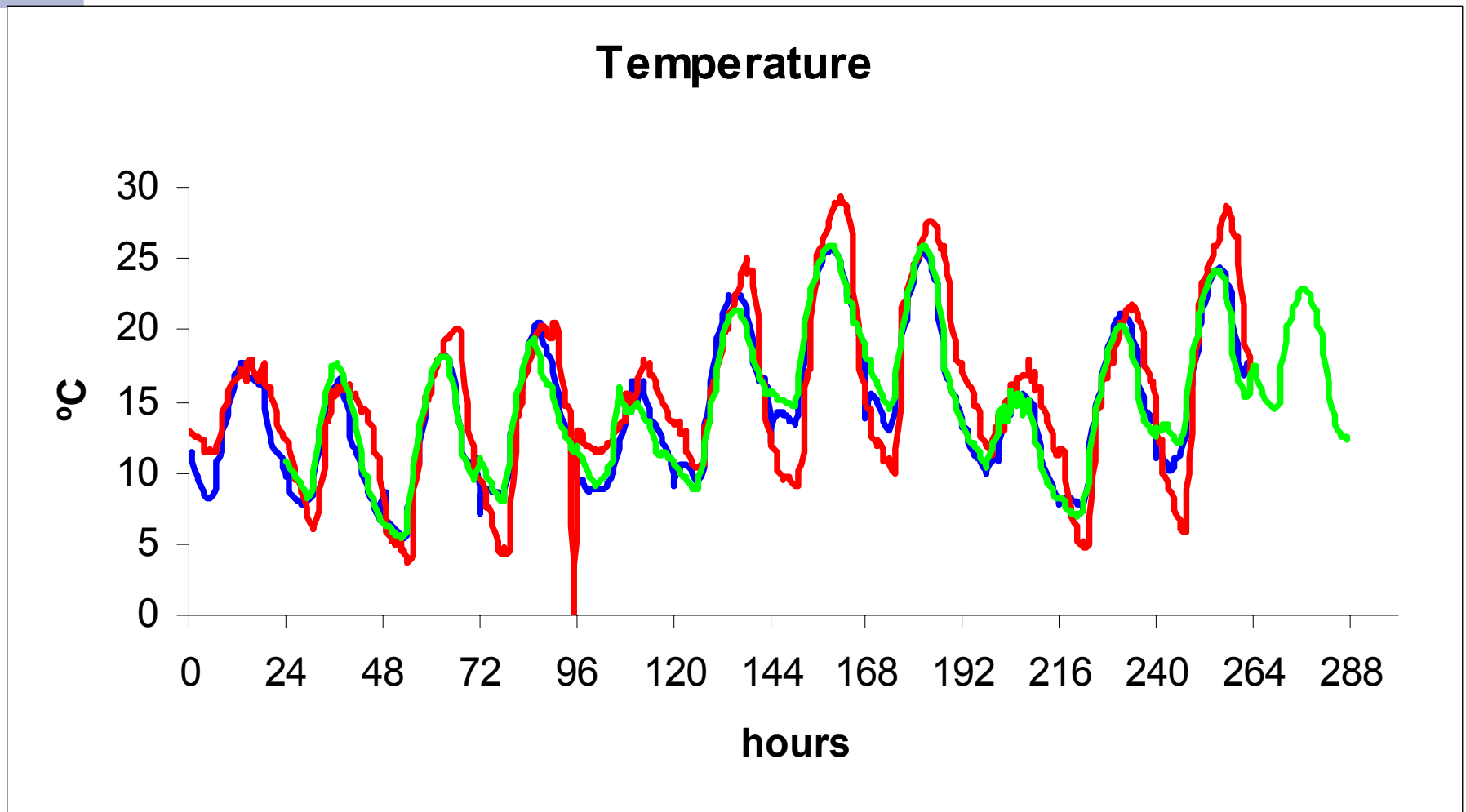
DataTaker 500

IDMEC 19.09.2005



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

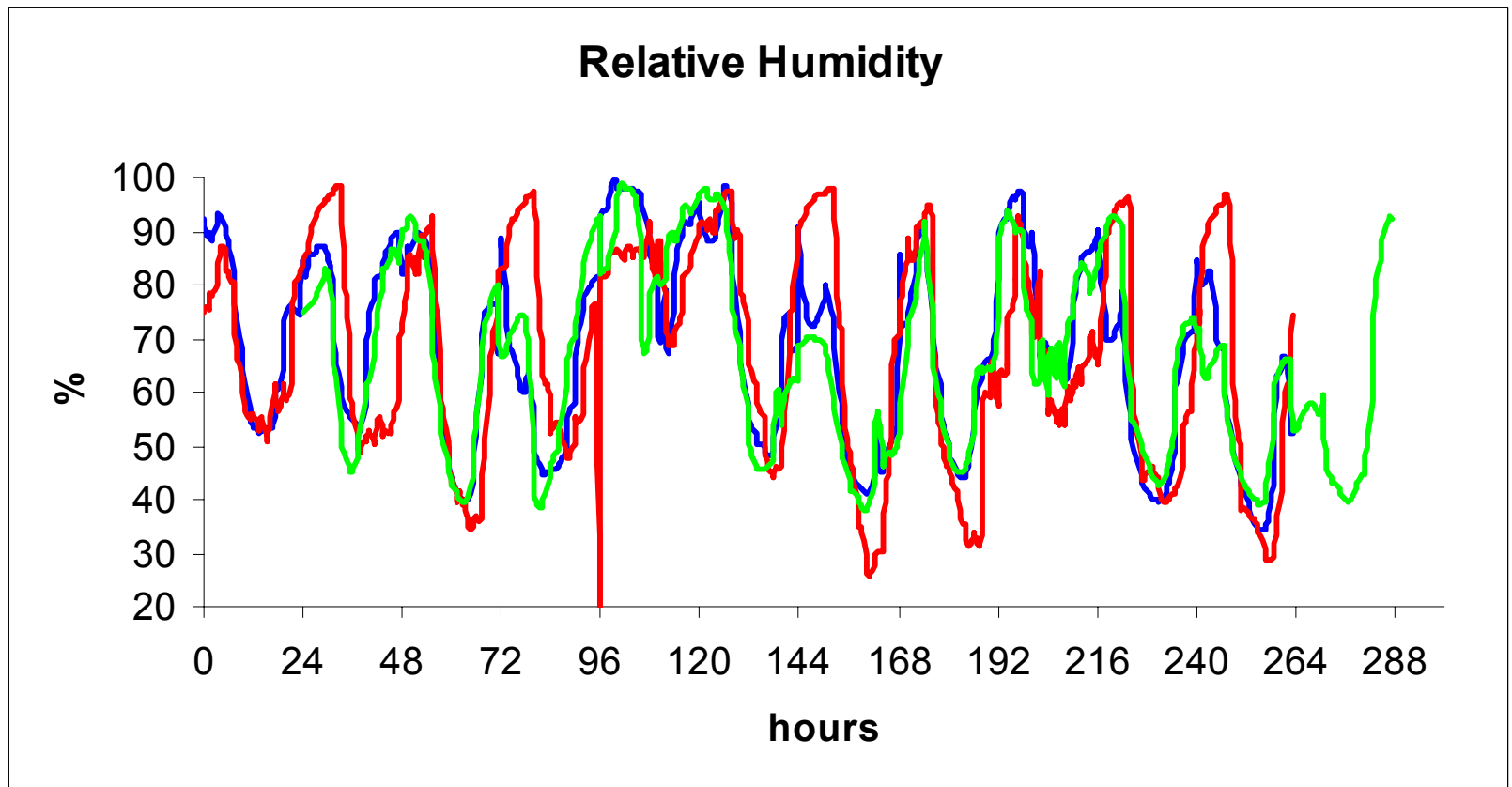
Quinta França 9 a 21 Maio 2002





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Quinta França 9 a 21 Maio 2002

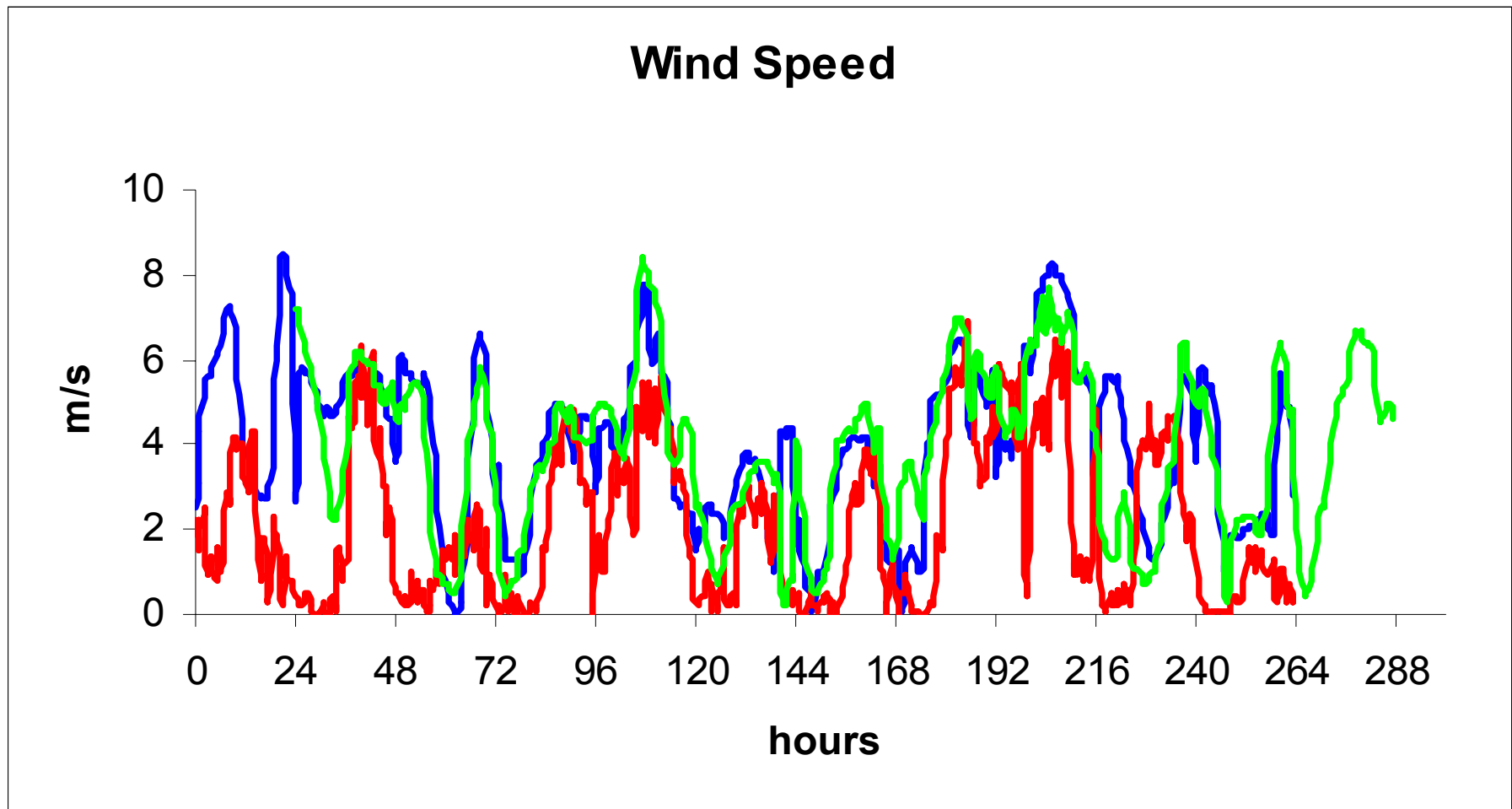


IDMEC 19.09.2005



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Quinta França 9 a 21 Maio 2002





Erros na previsão de 72 horas

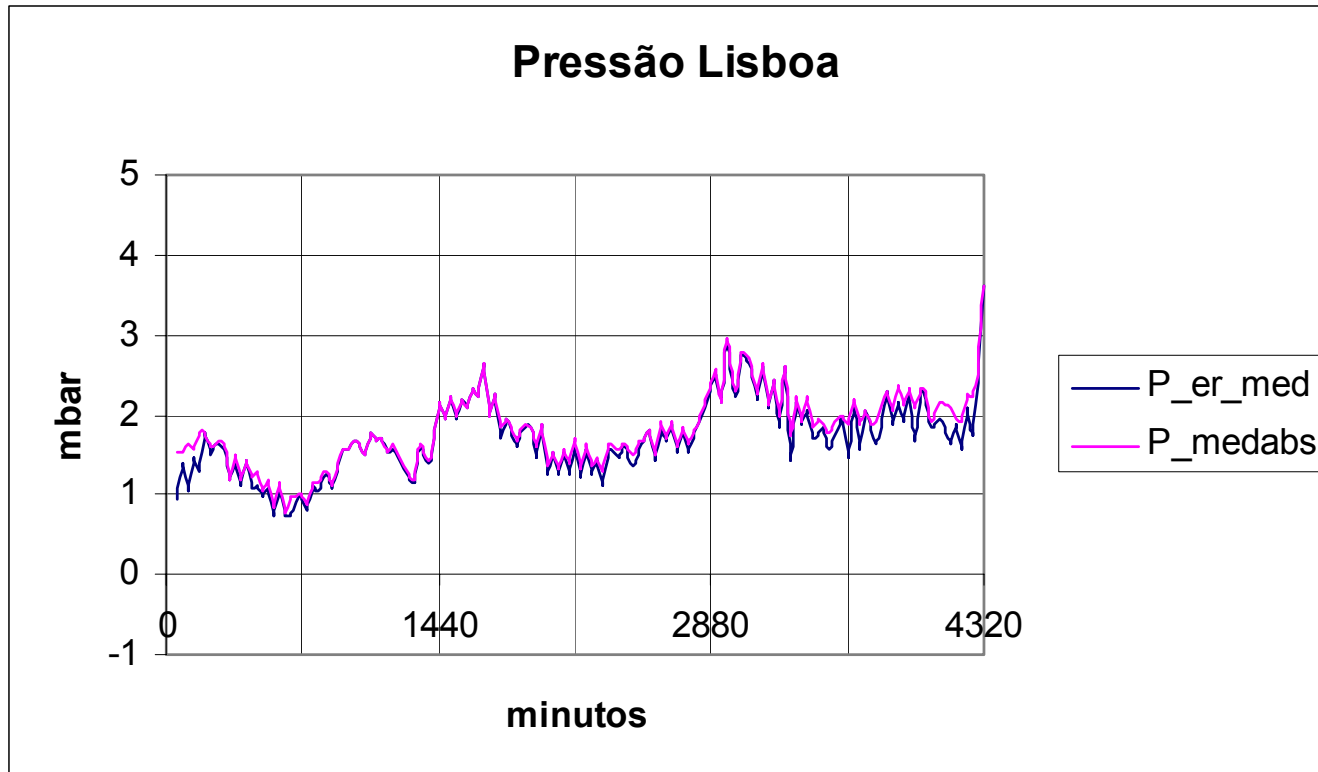
Para cada hora de previsão e 120 dias de observações:

- erro médio (modelo - observado)
- erro médio absoluto
- raiz do erro quadrático médio.

Em :Lisboa Porto e Faro

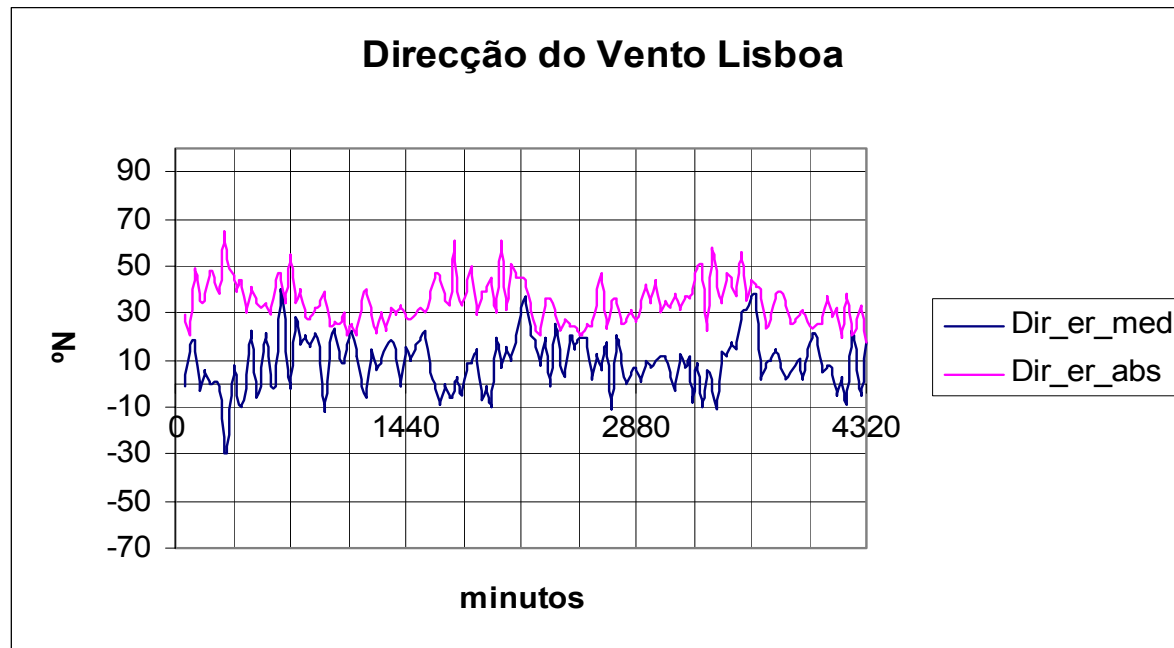


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO





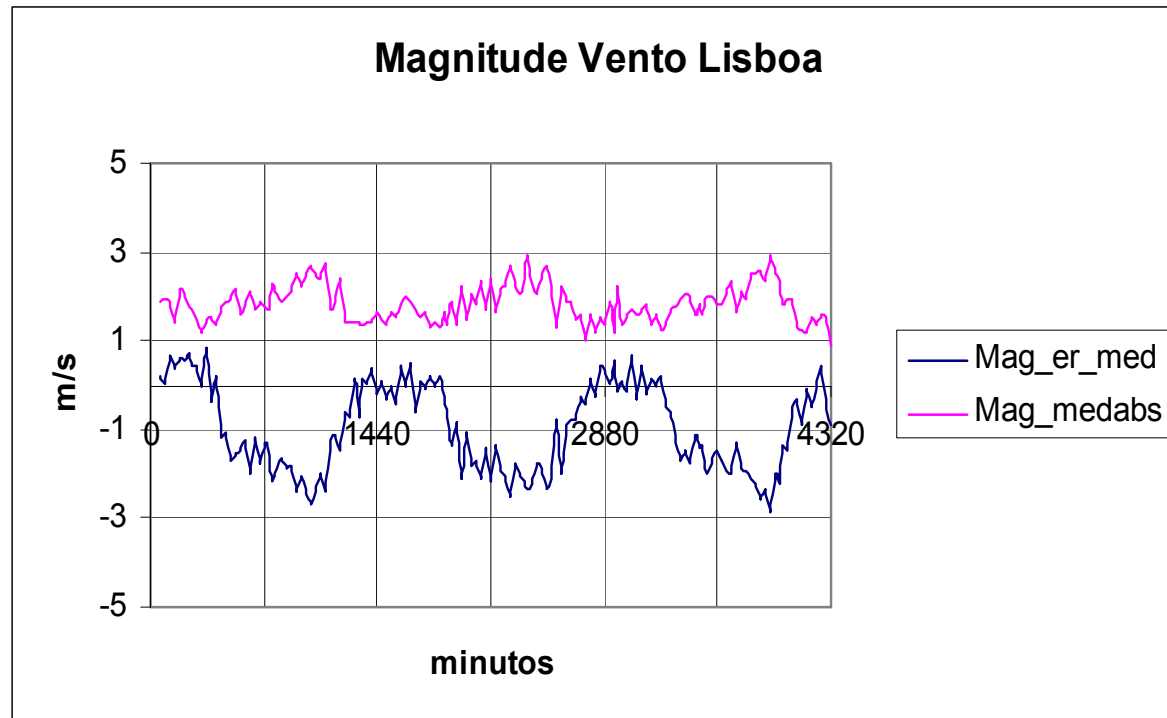
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005



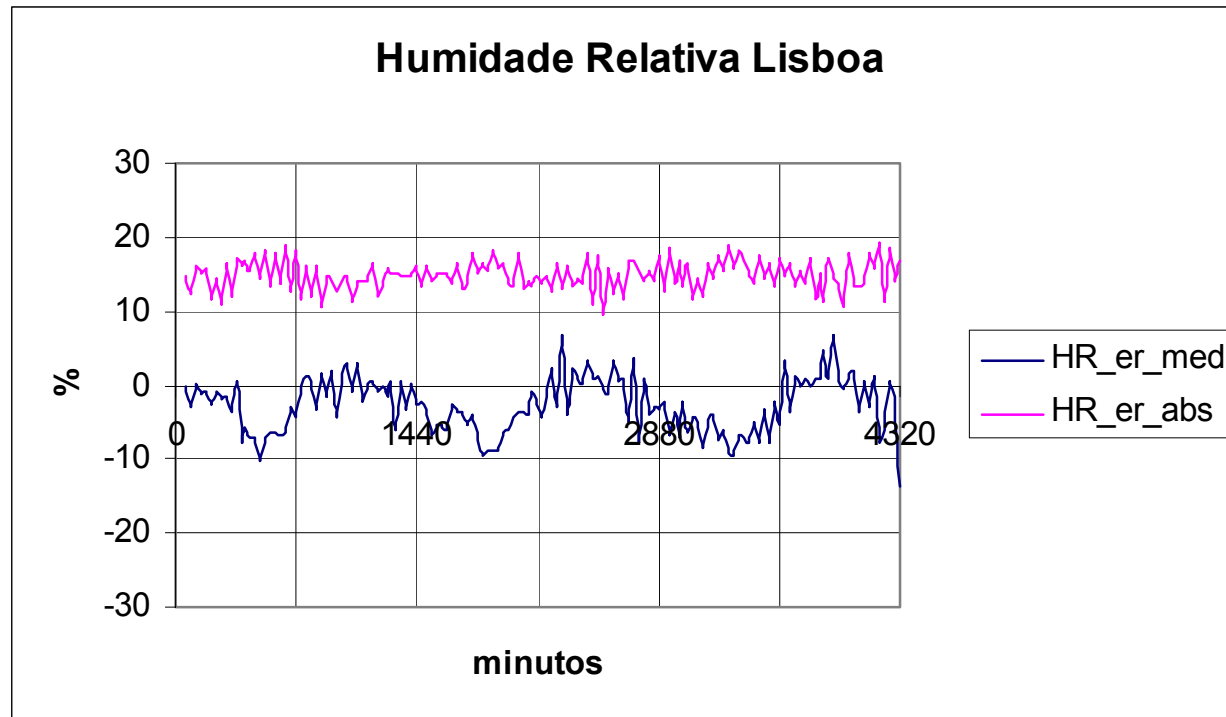
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005

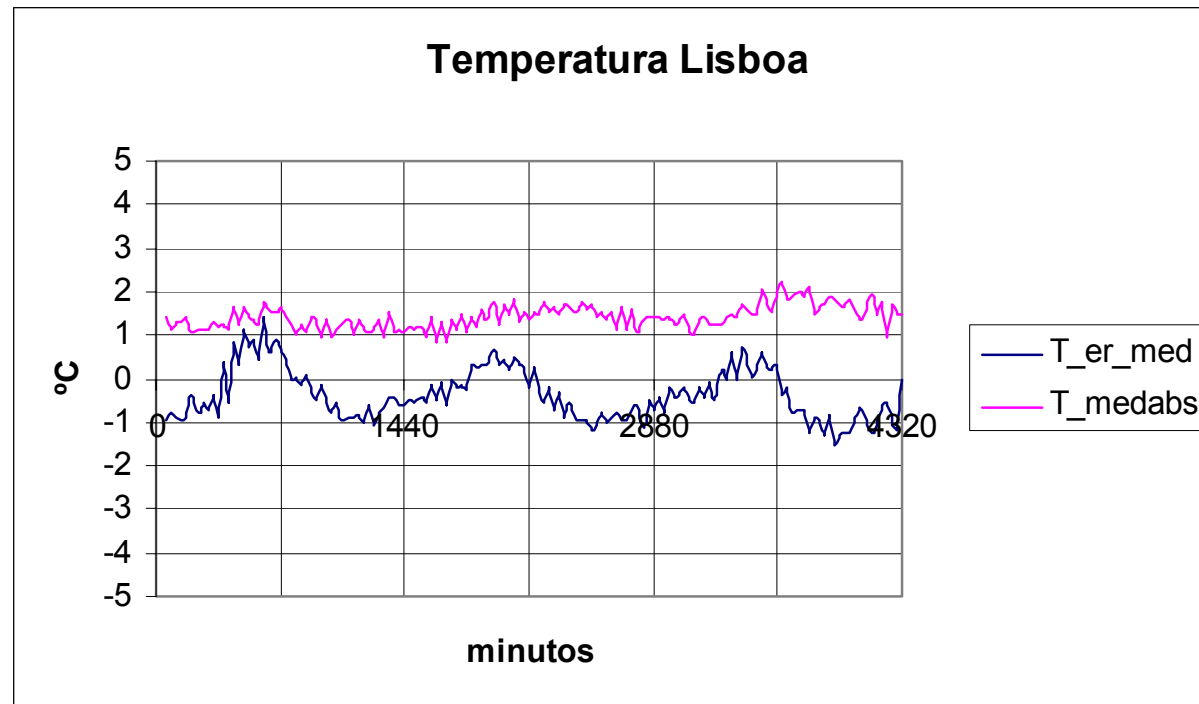


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



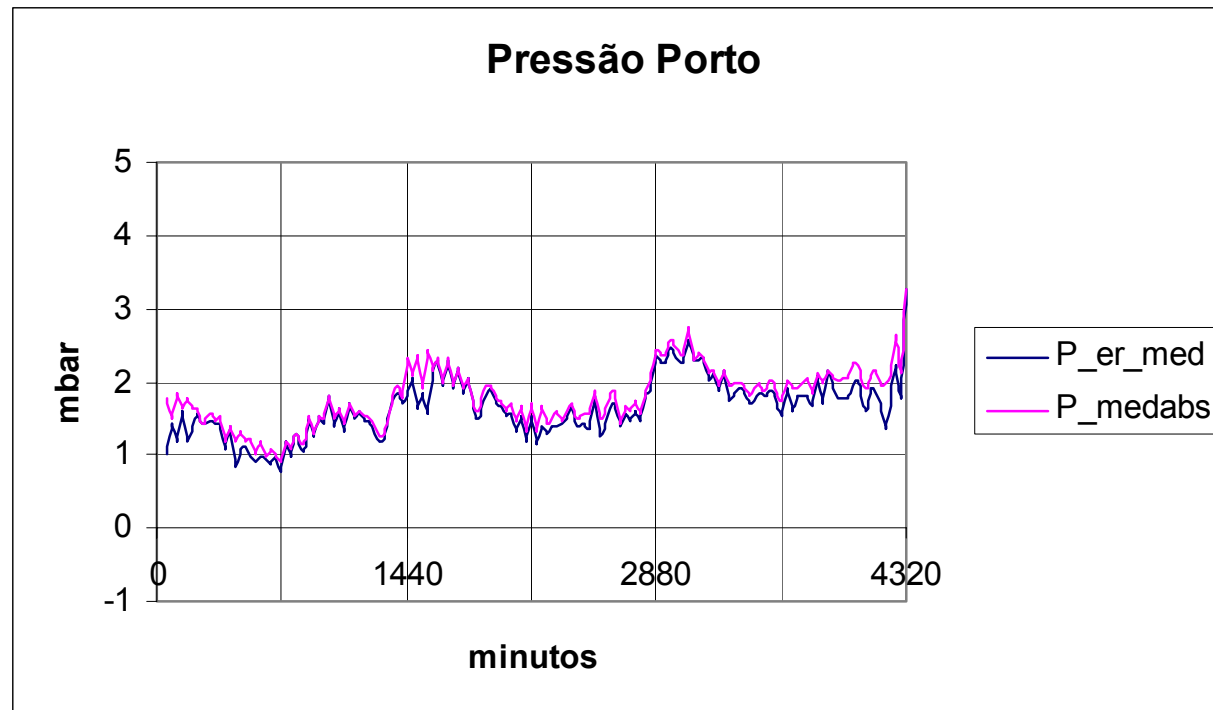


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO





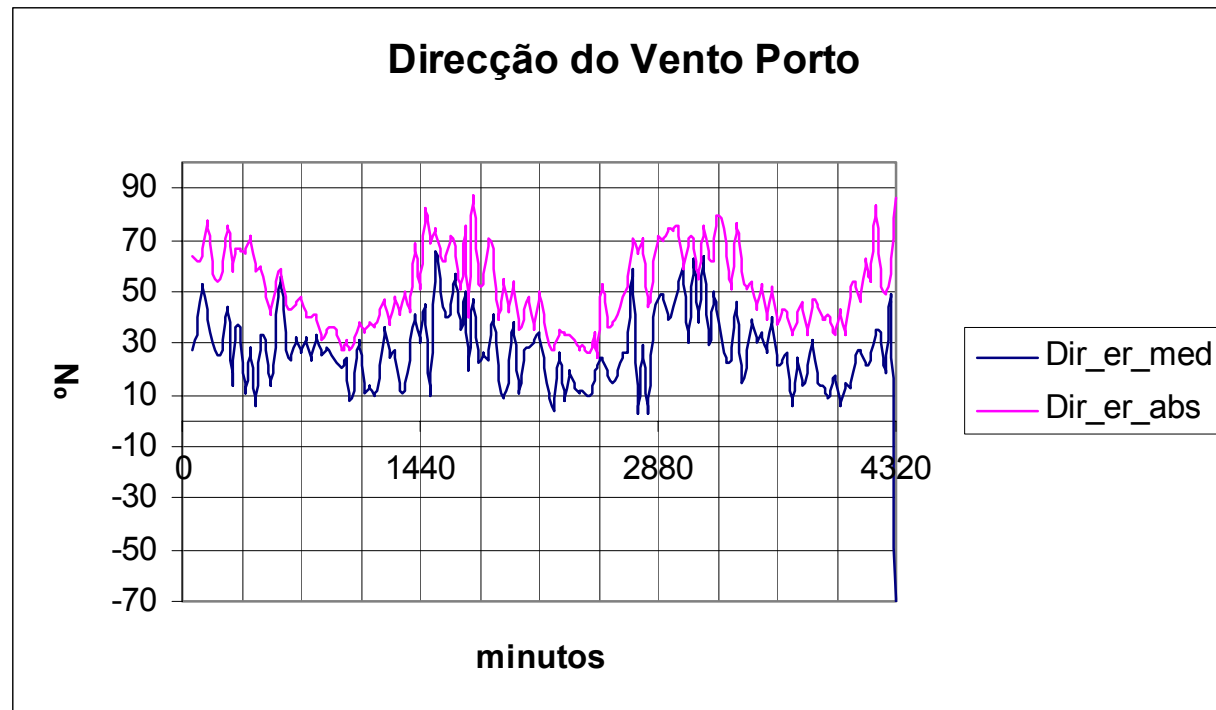
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005



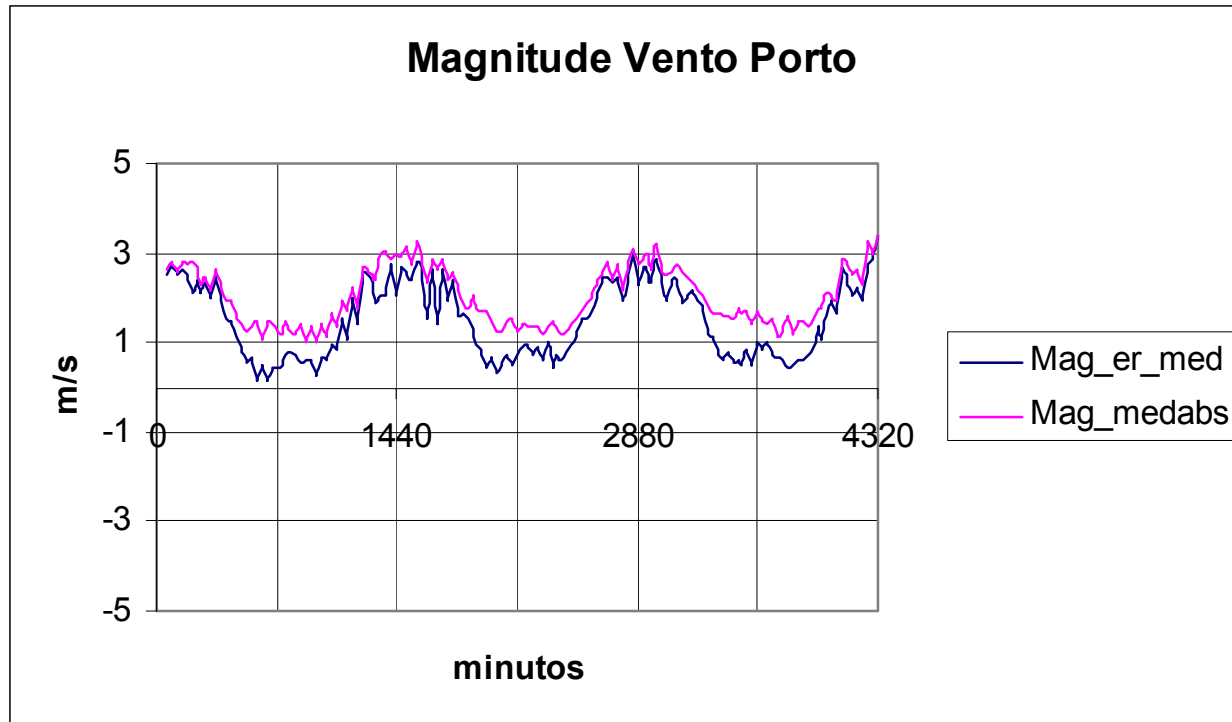
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005



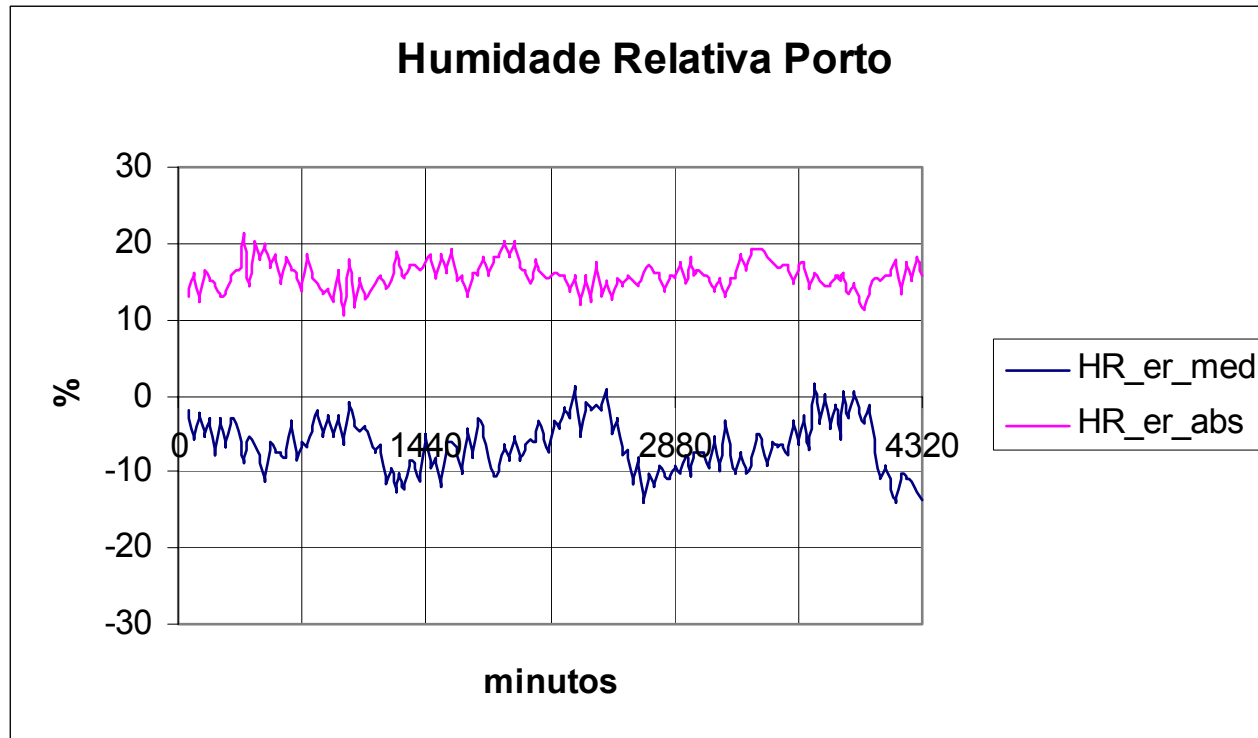
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005



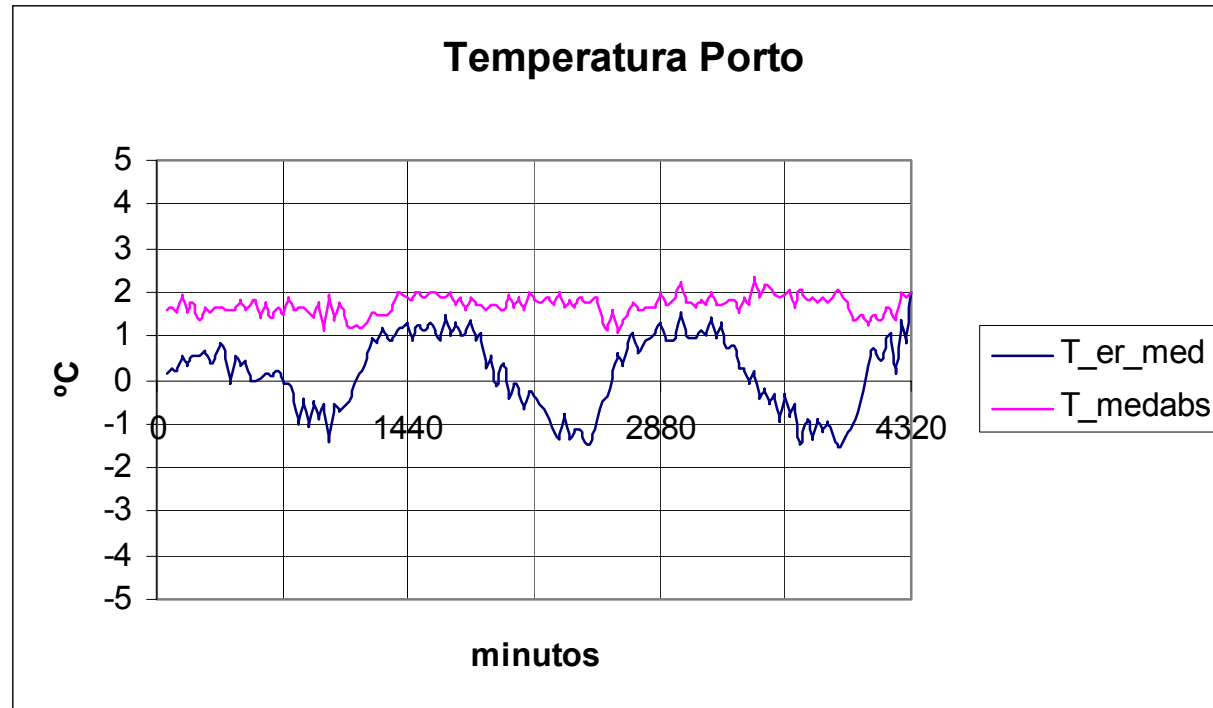
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005

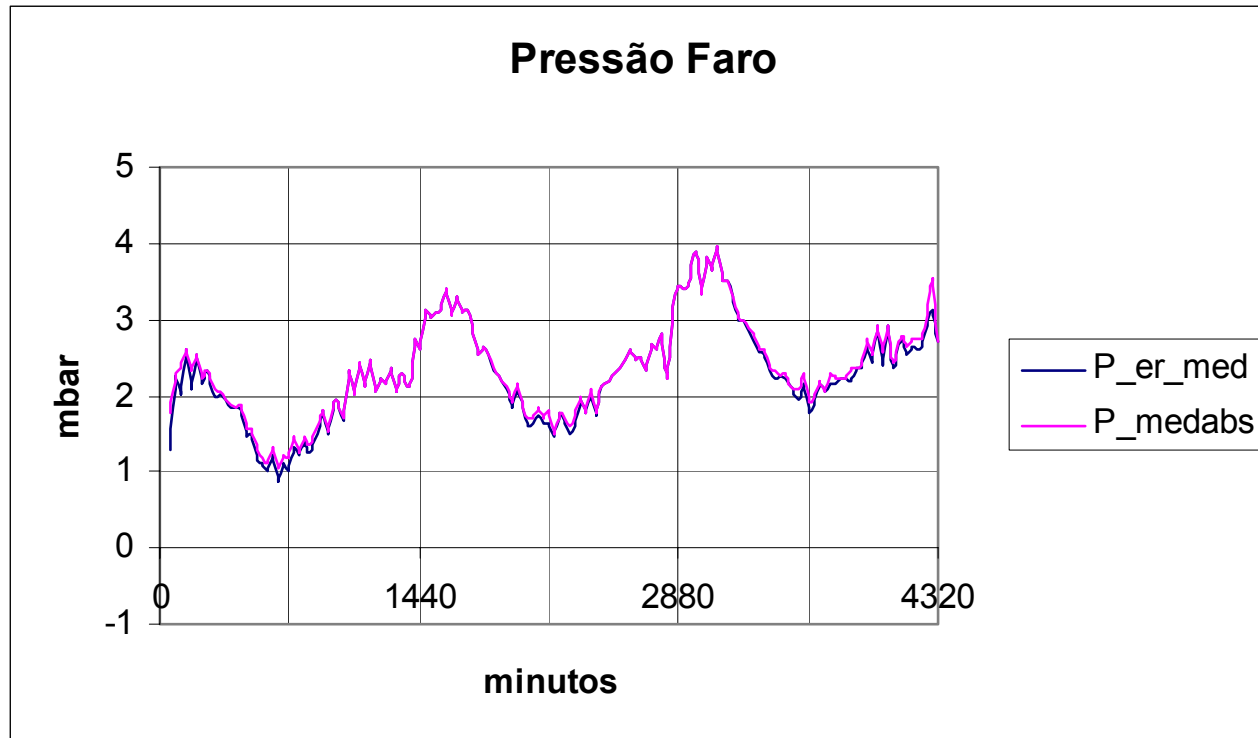


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO





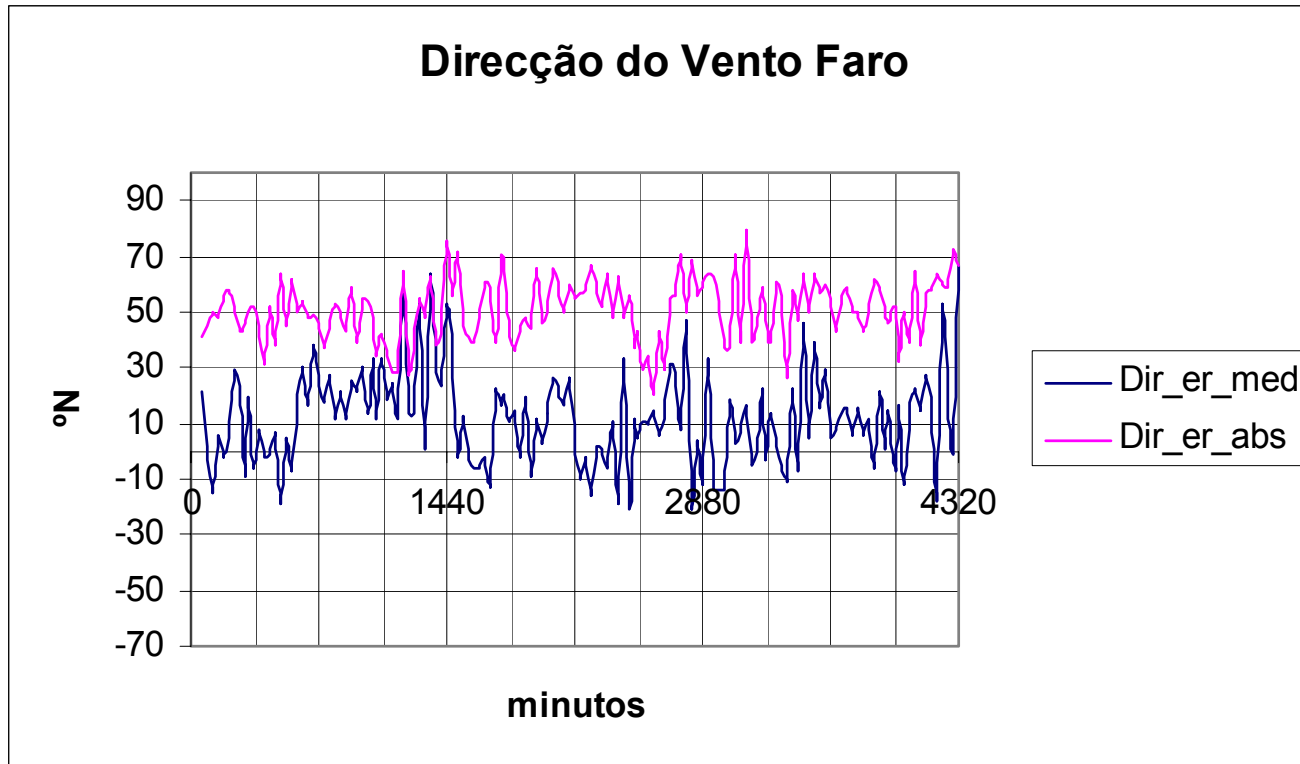
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005

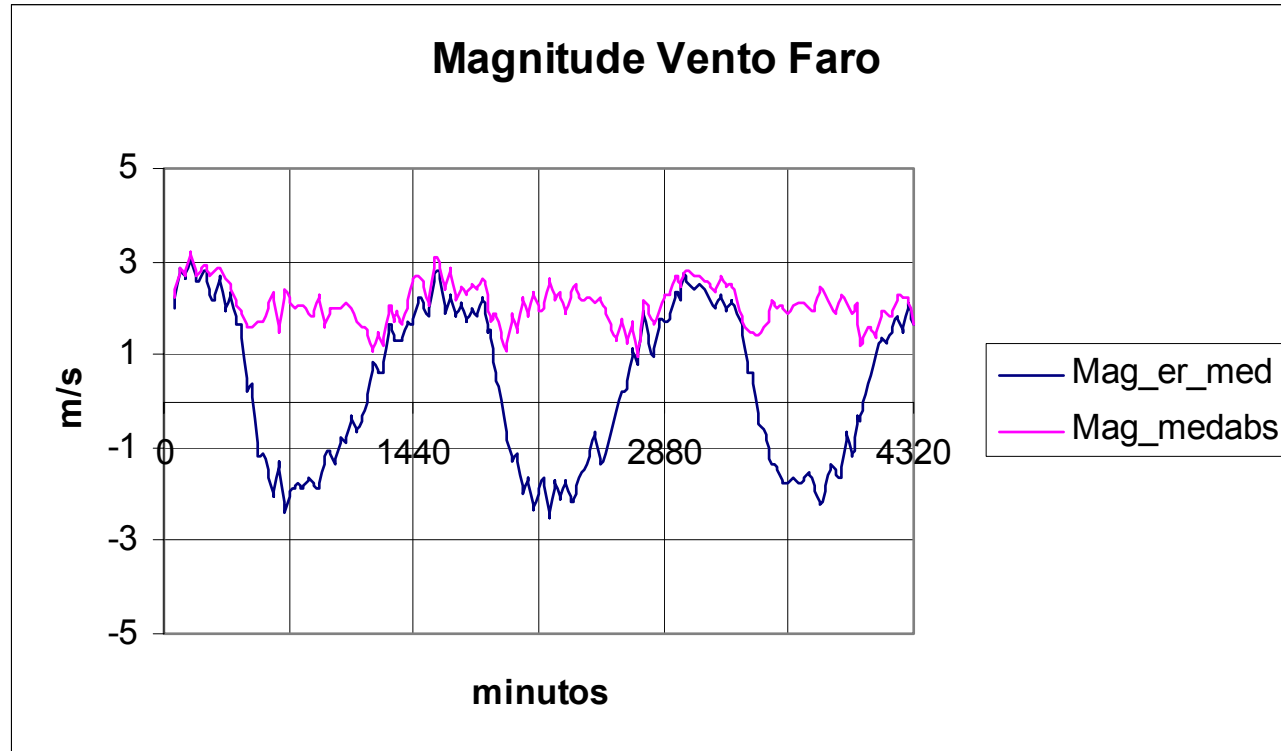


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO





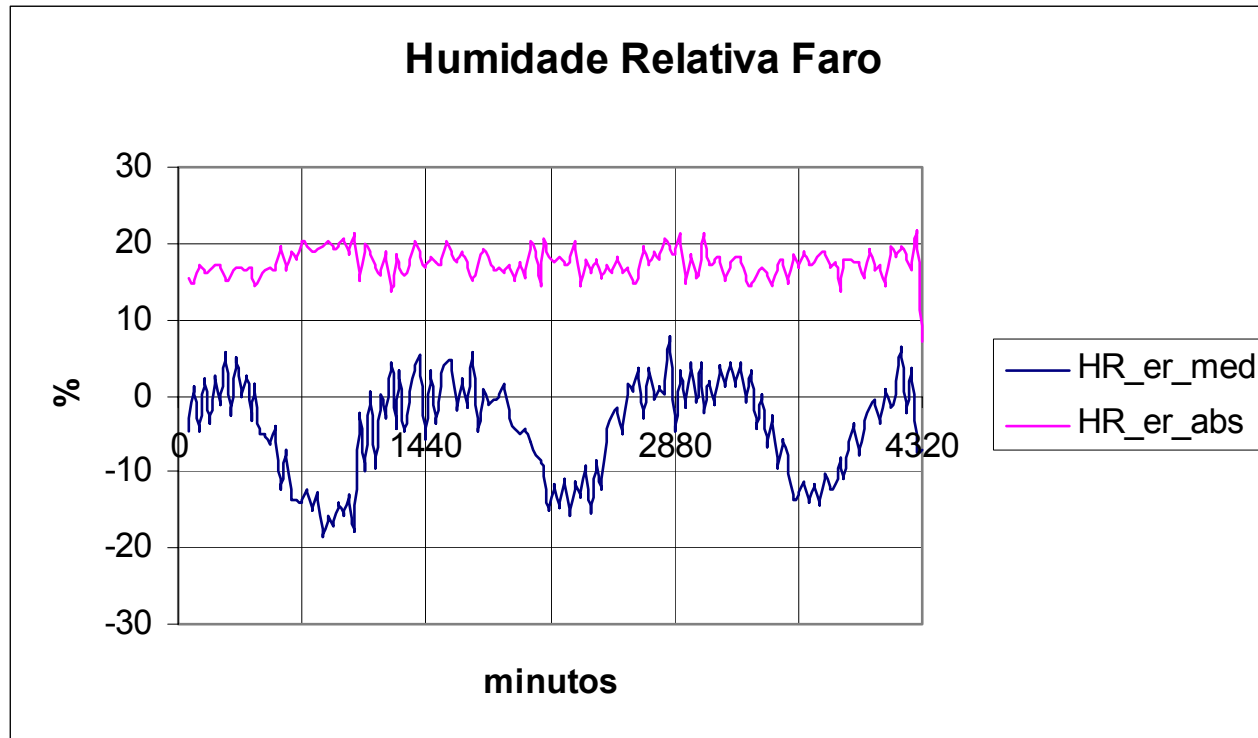
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005



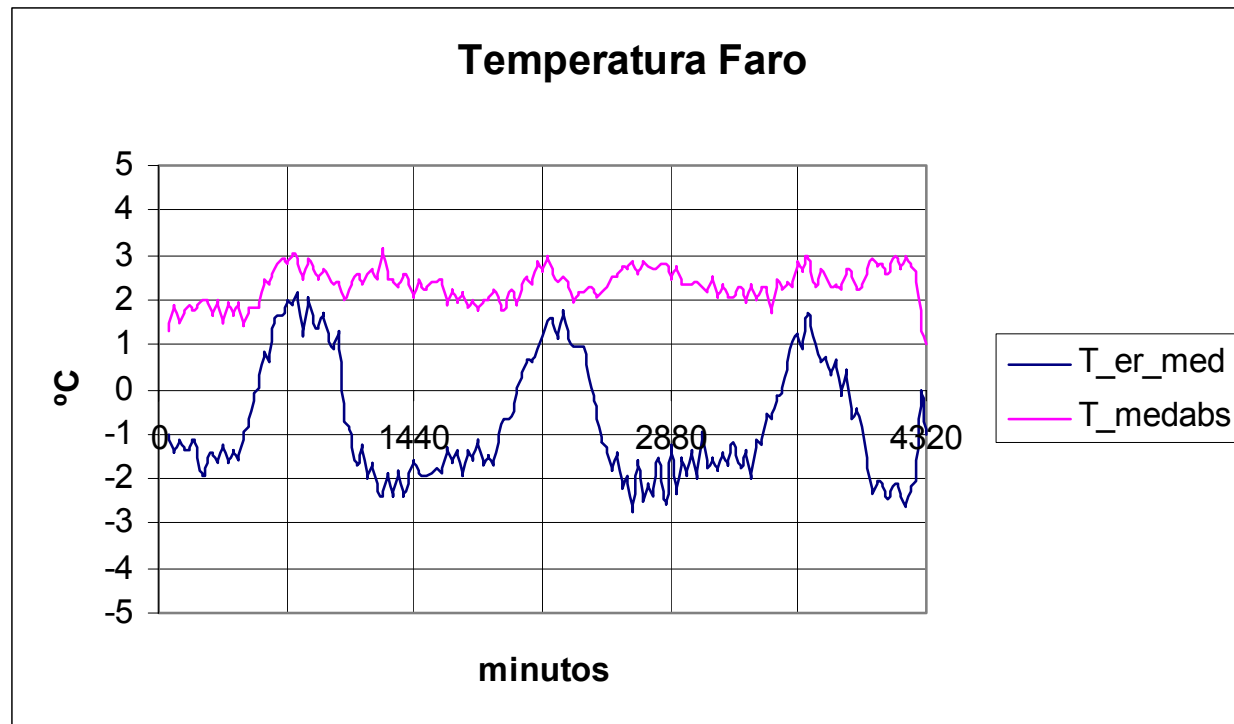
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO



IDMEC 19.09.2005



Fiabilidade operacional

- Nos últimos 2 anos a indisponibilidade foi inferior a 7 dias, 5 por causas externas (FCCN, IST, NCEP)
- Todos os sistemas são redundantes e com aviso automático de falha
- Os dados iniciais são ~300MB para cada previsão e são recolhidos num computador dedicado, sediado na FCCN. Permitem fazer a previsão para qualquer parte do mundo.
- Destes 300MB, cerca de 30MB são relevantes para a previsão disponibilizada no site e são separados na FCCN de onde são transmitidos ao IST que inicia automaticamente o cálculo após recepção.



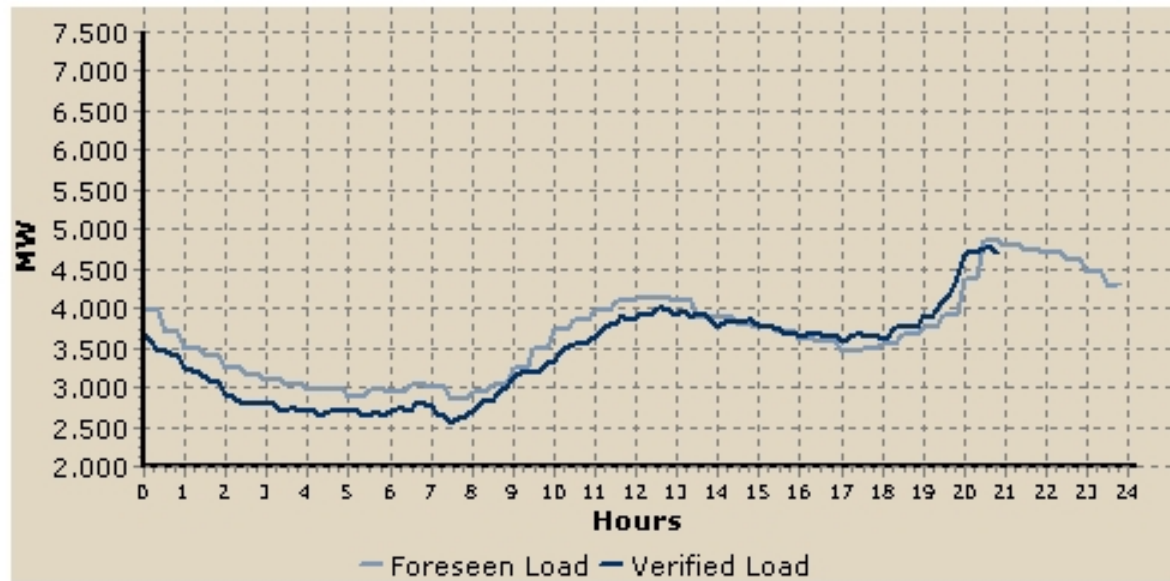
Clients/Users

- 4 x day a 72 hours prediction is pos-processed, transferred to the server (<http://meteo.ist.utl.pt>) and made available as a public service (~100 consults/day, ~ 37 000 since start). Local values are got by interpolation on a 9x9 km mesh
- Special processing is done on a research contract/agreement with REN (National Electrical Grid), MoHid-HidroMod and the PUBLICO newspaper
- REN integrates the prediction in his Power Generation Forecast



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Predicted Power Generation and Demand



IDMEC 19.09.2005



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Prediction In Words for Newspapers ...

- >> 12-18/SET/2005 <<
- >> LISBOA
- ::Segunda 19 de Setembro : periodo das 0 às 12 horas
- Vento fraco (5 a 20 km/h), soprando (69 %) de Nordeste-Este
- Temperatura máxima :25°C
- Temperatura mínima :14°C
- ::Segunda 19 de Setembro : periodo das 12 às 24 horas
- Vento fraco (5 a 20 km/h), soprando
- Temperatura máxima :26°C
- Temperatura mínima :17°C
- ::Terça 20 de Setembro : periodo das 0 às 12 horas
- Vento fraco (5 a 20 km/h), soprando (69 %) de Nordeste-Este
- Temperatura máxima :25°C
- Temperatura mínima :14°C

IDMEC 19.09.2005



Trabalho em curso

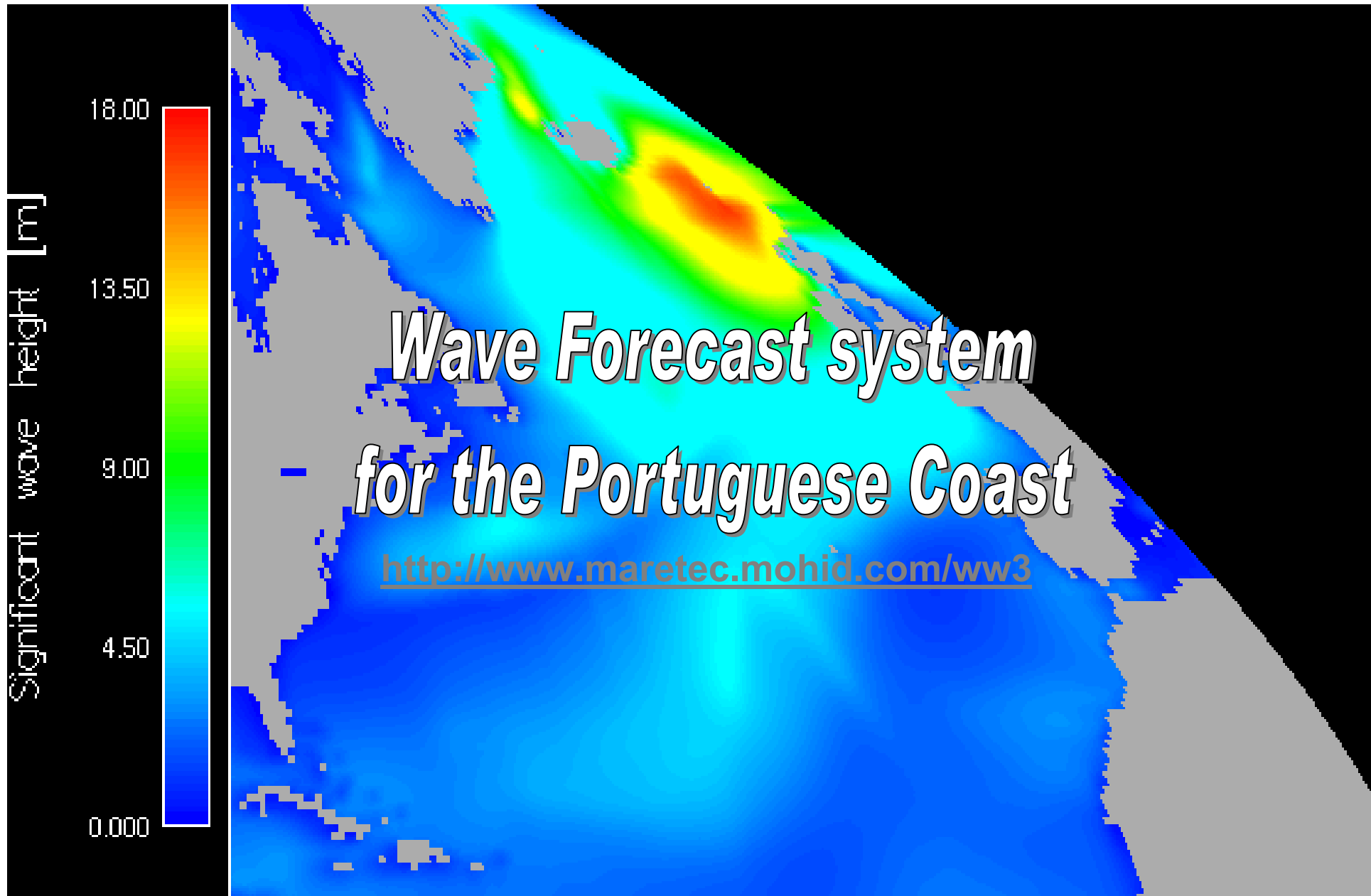
Previsão por ensembles em conjunto com

- Meteo Galiza e U.Santiago de Compostela
- Serviço Meteorológico da Catalunha
- Universidade das Ilhas Baleares

(disponibilado diariamente no site (<http://redibericamm5.uib.es>))

Acoplamento ao Modelo Hidrodinamico MoHid

Previsão da Ondulação ao Longo da Costa Portuguesa



MOHID

Water Modeling System

Wave Watch III

Forecast 5th–8th January 2005

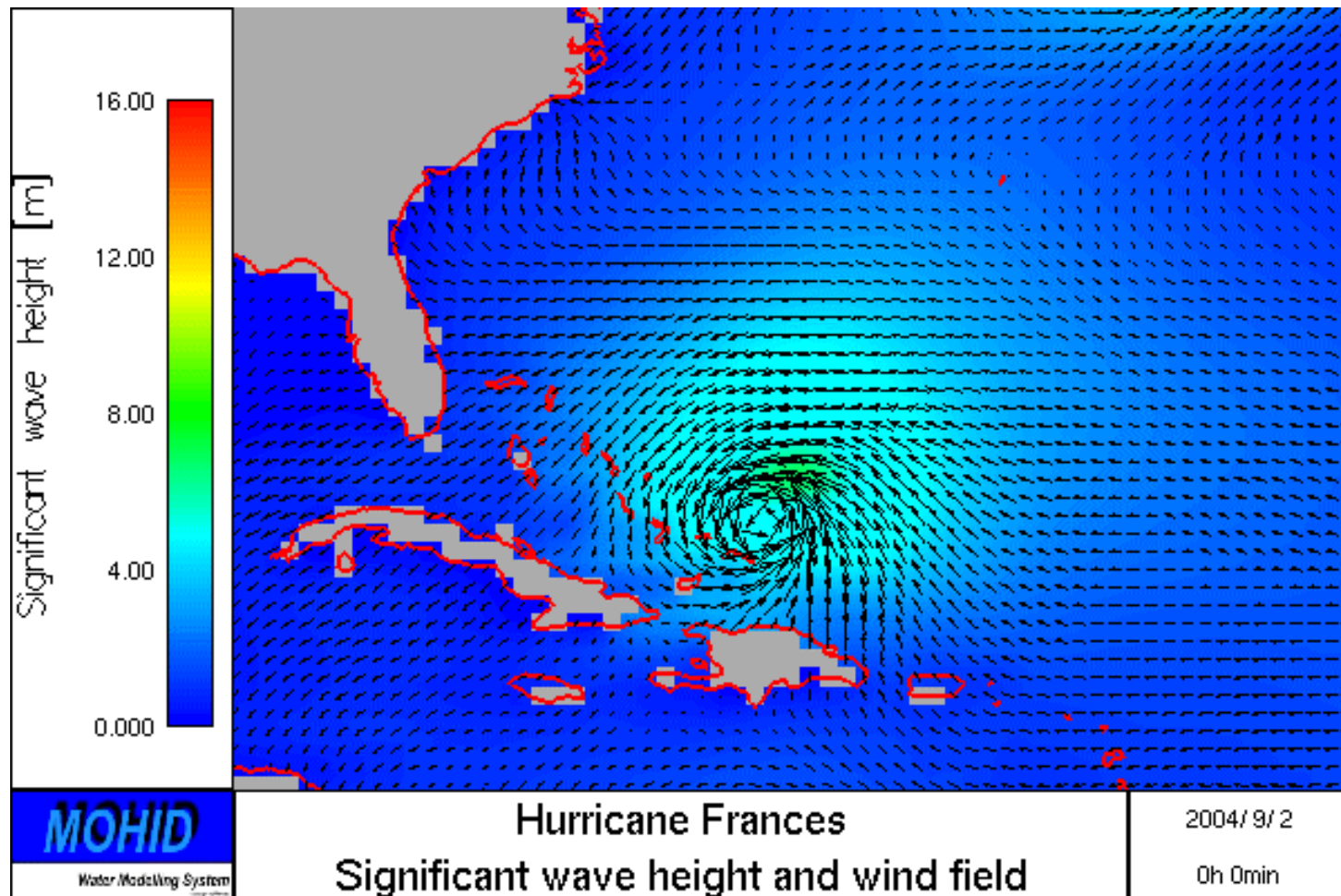
2005/ 1 / 5

0h 0min



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

North Atlantic model - Hurricanes



IDMEC 19.09.2005



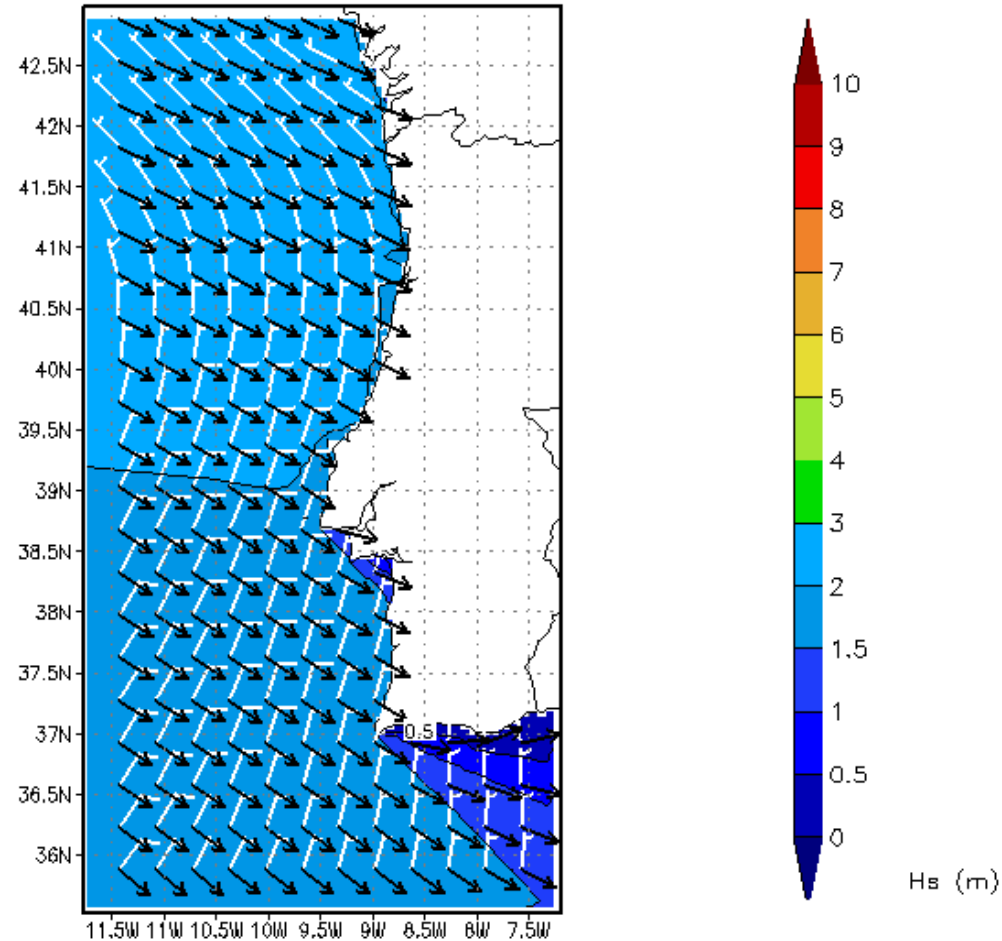
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Portuguese coast model

IST – WaveWatch III 00Z02JAN2005

Ondas: Altura significativa H_s (m), Dir. media (setas) e vento (m/s) (barras brancas)

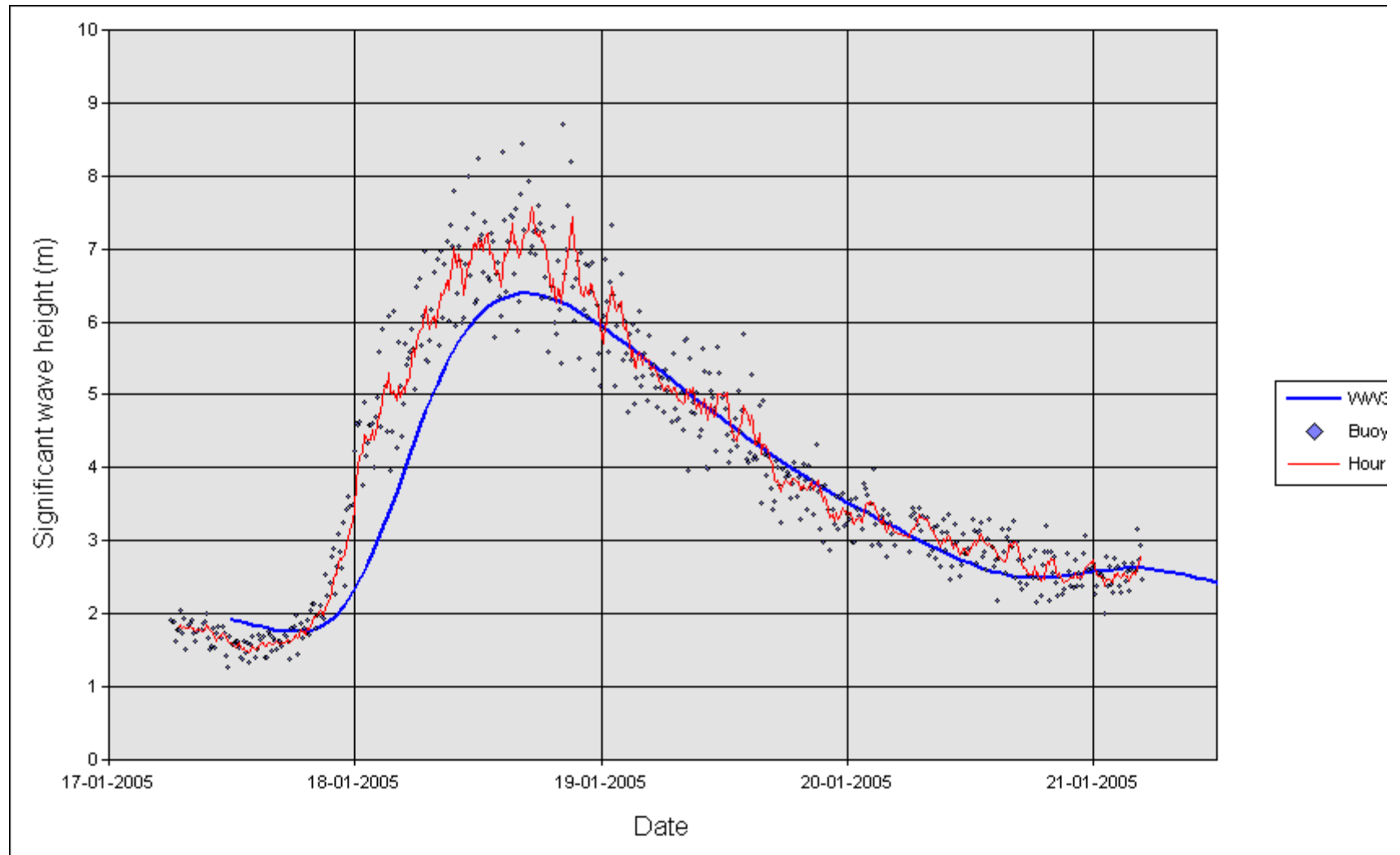
Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Validation – Leixões buoy





Requisitos espaciais e temporais das Previsões Meteorológicas

- O valor económico da previsão depende substancialmente da estrutura da rede/sistema produtor
- Para previsões até $\sim 2\sim 3$ h existe prevalência de métodos estatísticos com base na permanência
- Os sistemas de trading e previsão de produção exigem pelo menos ~ 48 horas
- Os modelos numéricos de micro escala são fundamentais acima das $2\sim 3$ horas



Muito pequena Escala 100m a 10 km

Para escalas espaciais $< 1\sim 5$ km o MM5 é pouco eficiente por razões de estabilidade numérica e de parametrização.

Existe por isso acoplado ao Modelo Calmet (EPA) e a um Modelo 3D do IST



Resumo de Métodos para curto prazo

MODELO	Autor	METODO	Estado Operacional	Operac. desde
Prediktor	Rissø	Físico	Espanha Dinamarca Irlanda R.F.A, E.U.A	1993
WPPT	IMM University of Copenhagen	Estatístico	~ 1GW Dinamarca (E & W)	1994
Zephyr: Combina WPPT e Prediktor	Rissø and IMM	Físico Estatístico	Dinamarca	2003
Previento	University of Oldenburg Germany	Físico	--	--
AWPPS (More-Care)	Armines/Ecole des Mines de Paris	Estatístico Fuzzy-ANN	Irlanda Creta Madeira	1998 2002
RAL (More-Care)	RAL	Estatístico	Irlanda	- 2002
SIPREÓLICO	University Carlos III Madrid Red Eléctrica de Espanha	Estatístico	~ 4GW , Espanha	
LocalPred- RegioPred	CENER	Físico	La Muela Soria Alaiz	2001
HIRPOM	University College Cork, Irlanda Danish Meteo Institute	Físico	Under development	
AWPT	ISET	Estatístico ANN	~ 10 GW	Germany



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

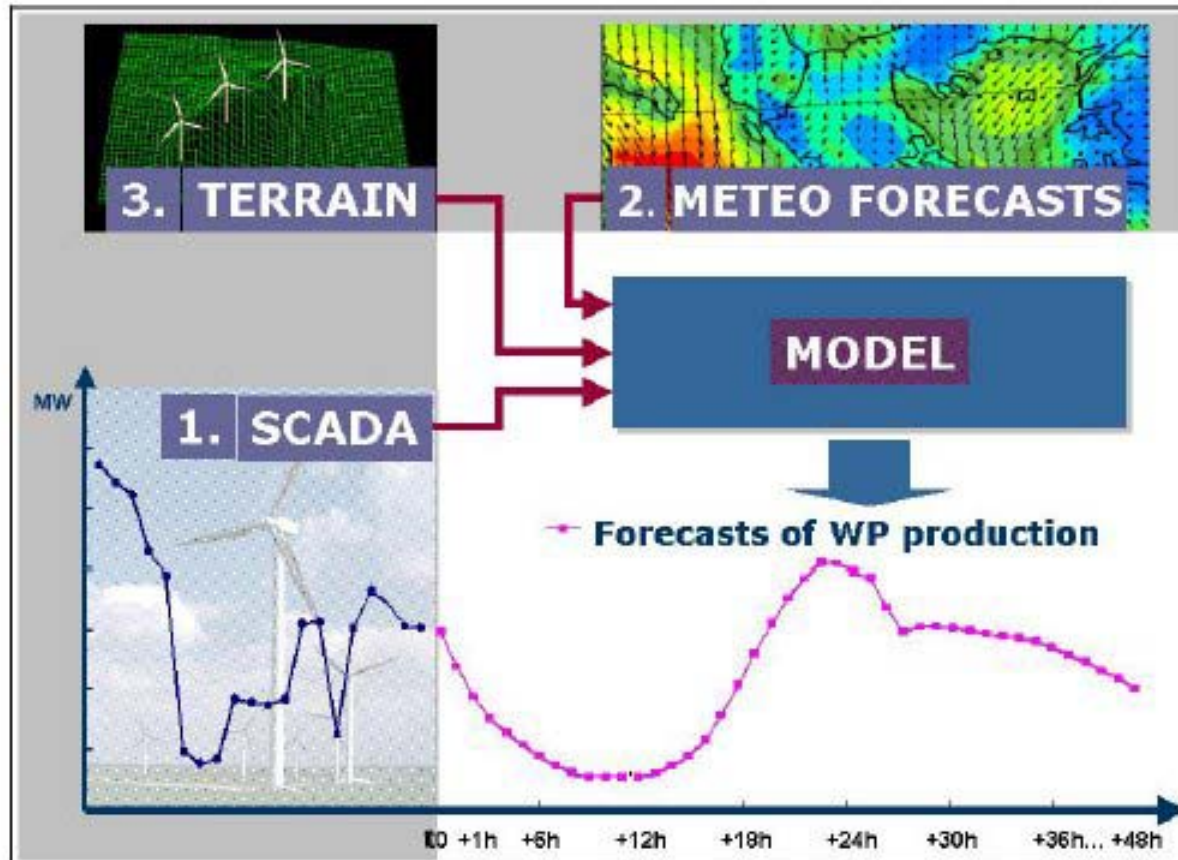
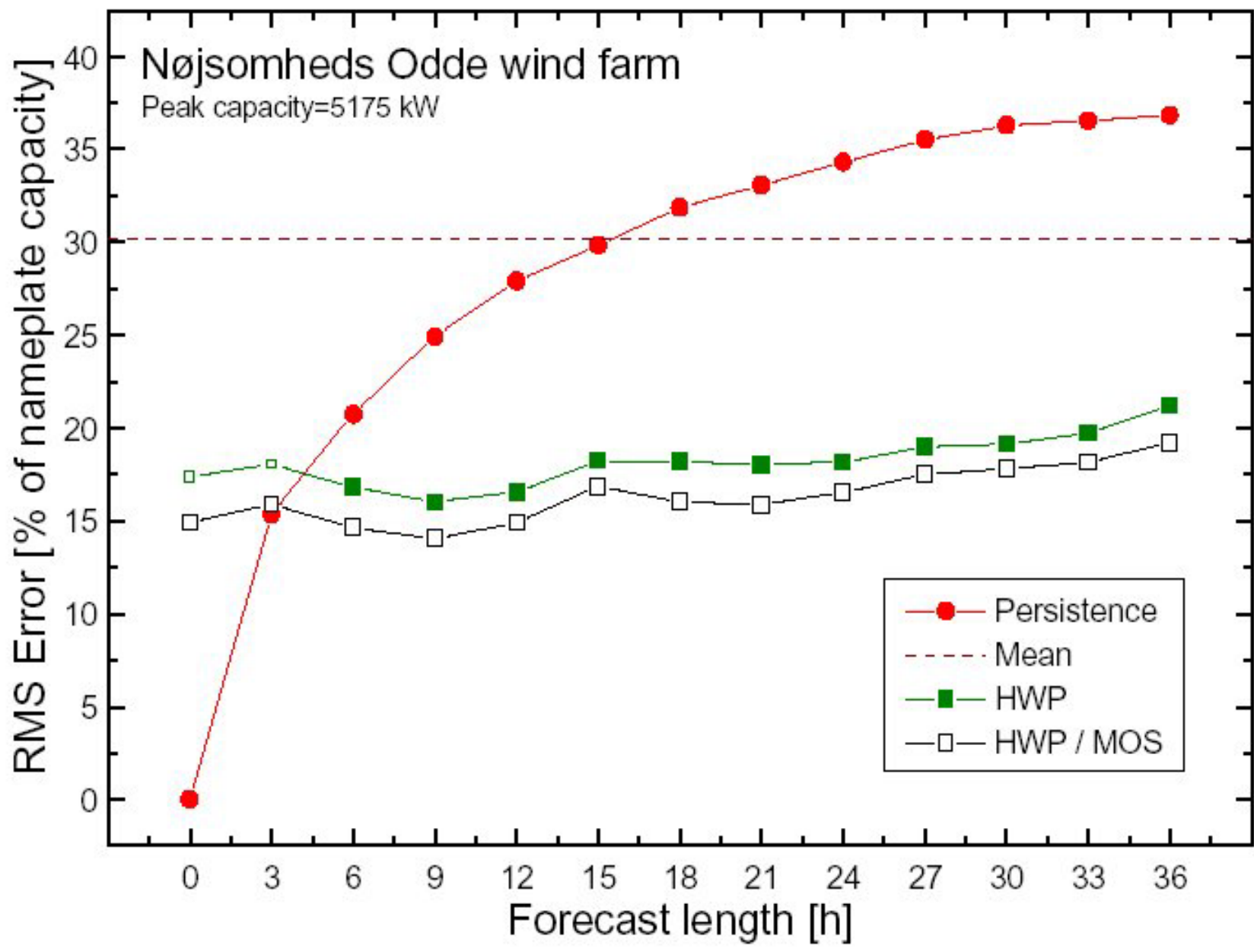


Figure 1: The various forecasting approaches can be classified according to the type of input (SCADA indicates data available on-line). All models involving Meteo Forecasts have a horizon determined by the NWP model, typically 48 hours.

- (1): Short-term statistical approaches using only SCADA as input (horizons: <6 hours).
- (2): Physical or statistical approaches. Good performance for >3 hours.
- (2)+(3): Physical approach. Good performance for >3 hours.
- (1)+(2): Statistical approach.
- (1)+ (2)+(3): Combined approach.

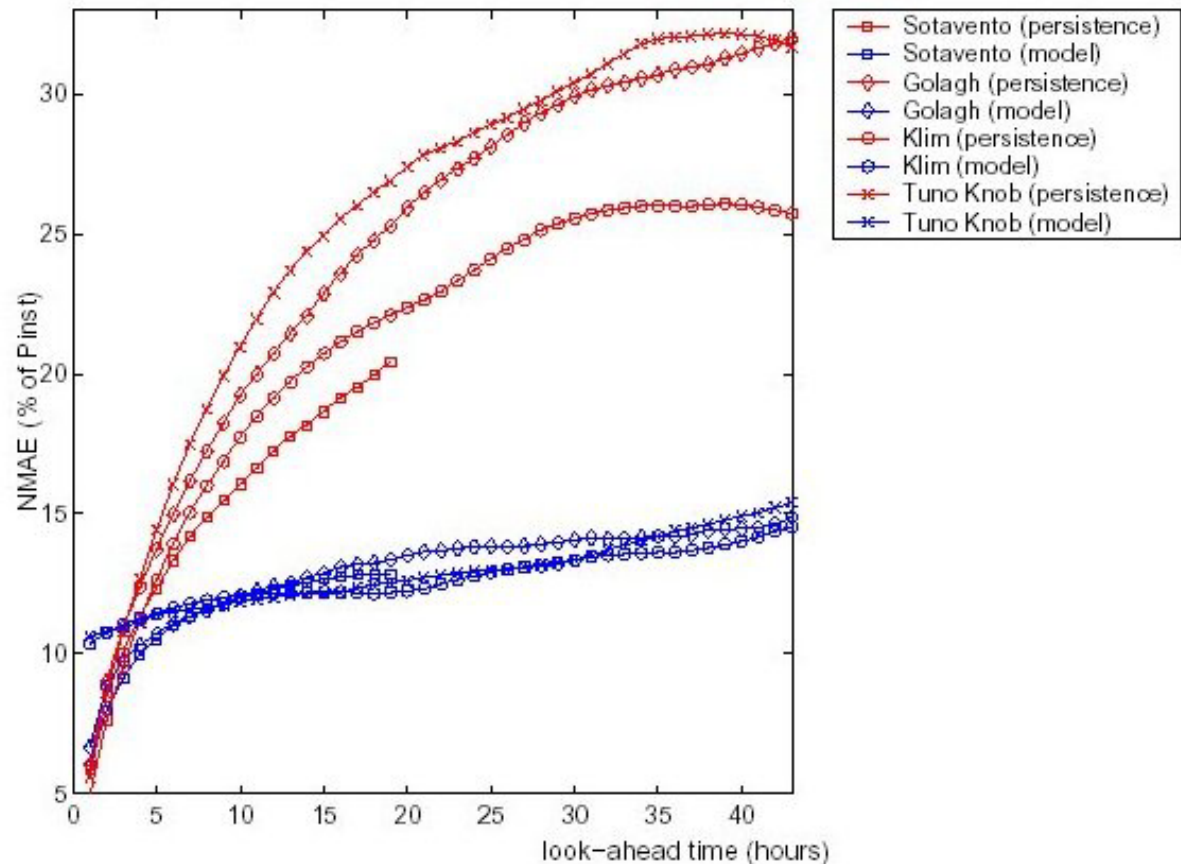




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Capacidade predictiva de velocidade

Evaluation of short-term wind power predictions



IDMEC 19.09.2005



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Previsão típica de produção de um parque eólico

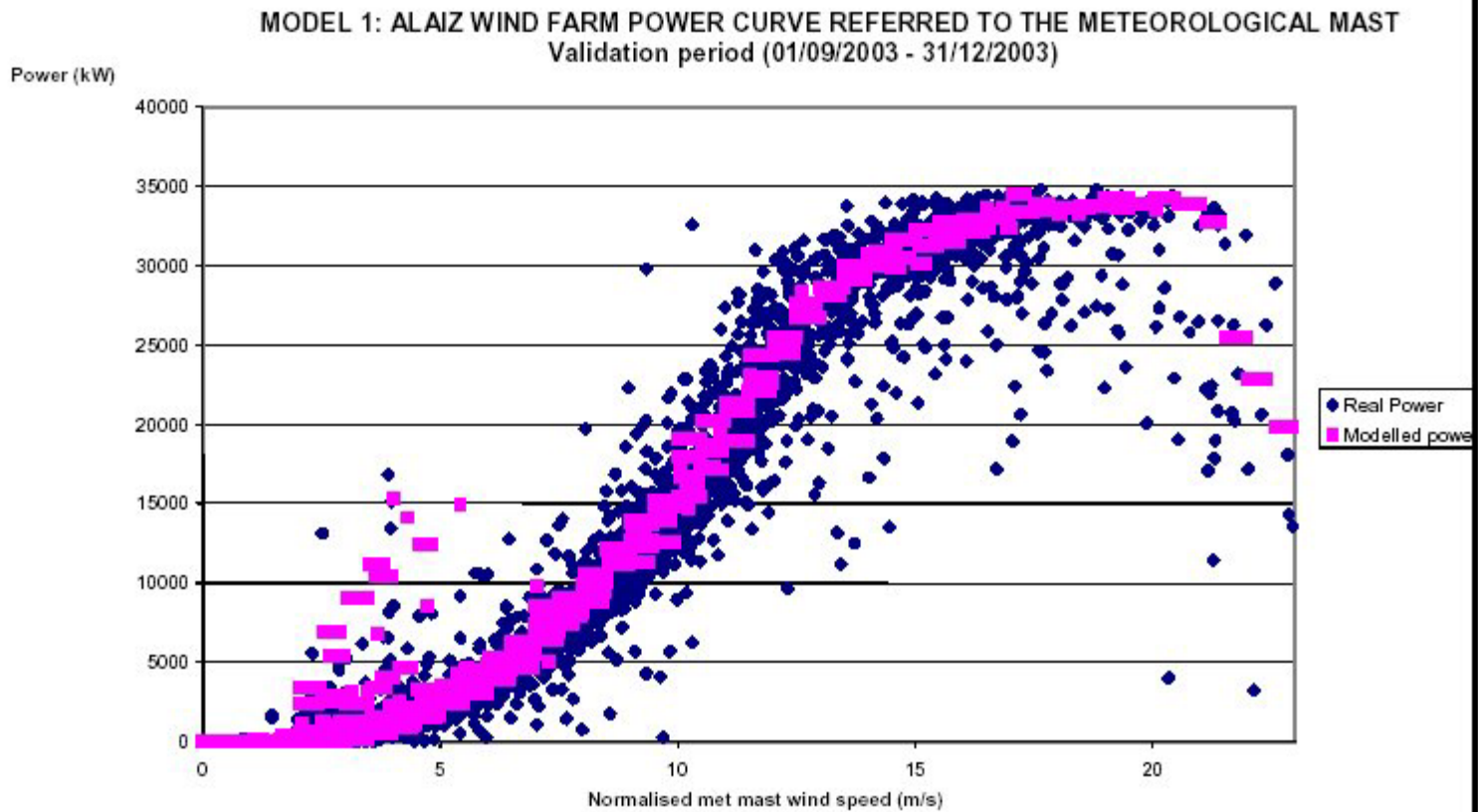
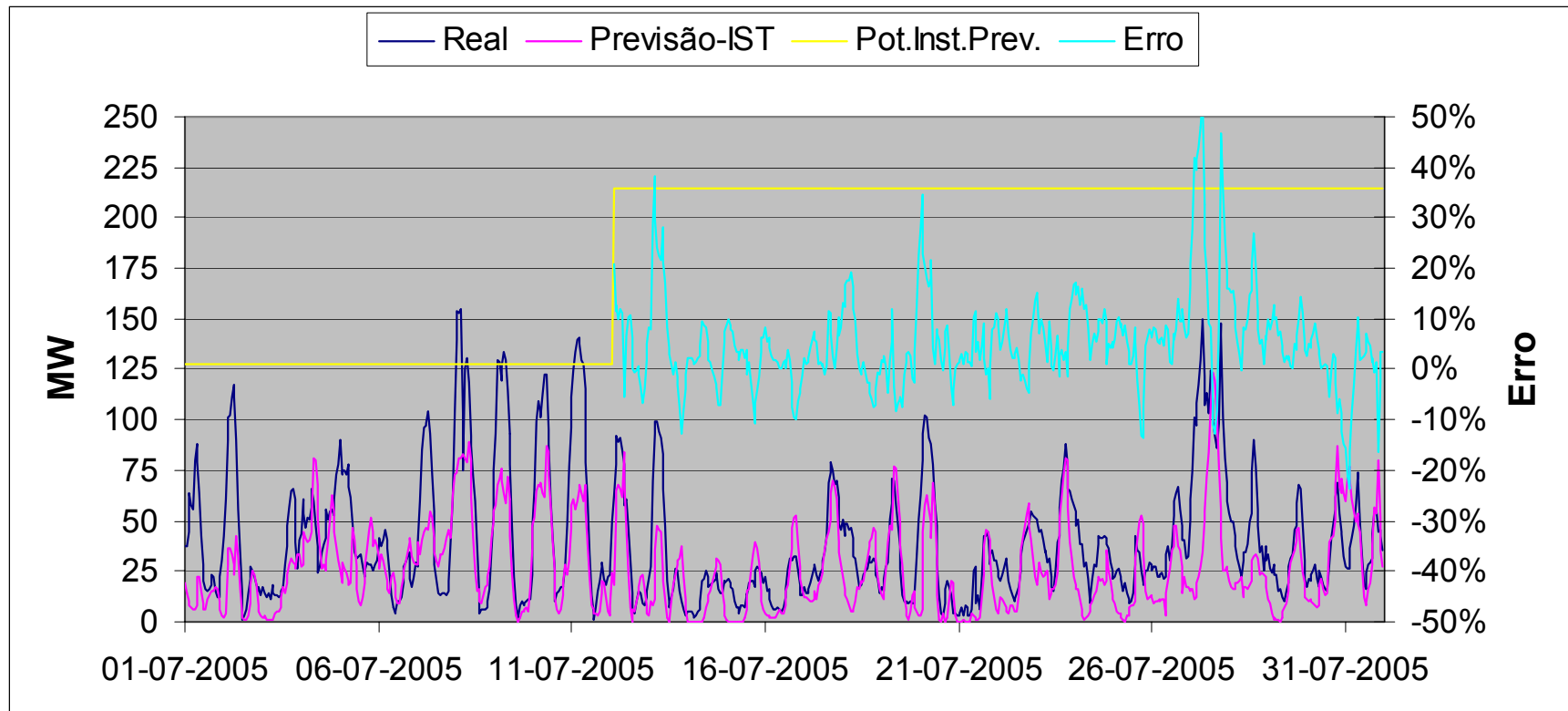


Figure 10. Modelled and real power curves during the validation period for MODEL 1



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Previsão (baseada em U10m) e Produção Eólica-Eléctrica



IDMEC 17.07.2005

Efeito de Estratificação Térmica no Perfil Vertical da Velocidade do Vento

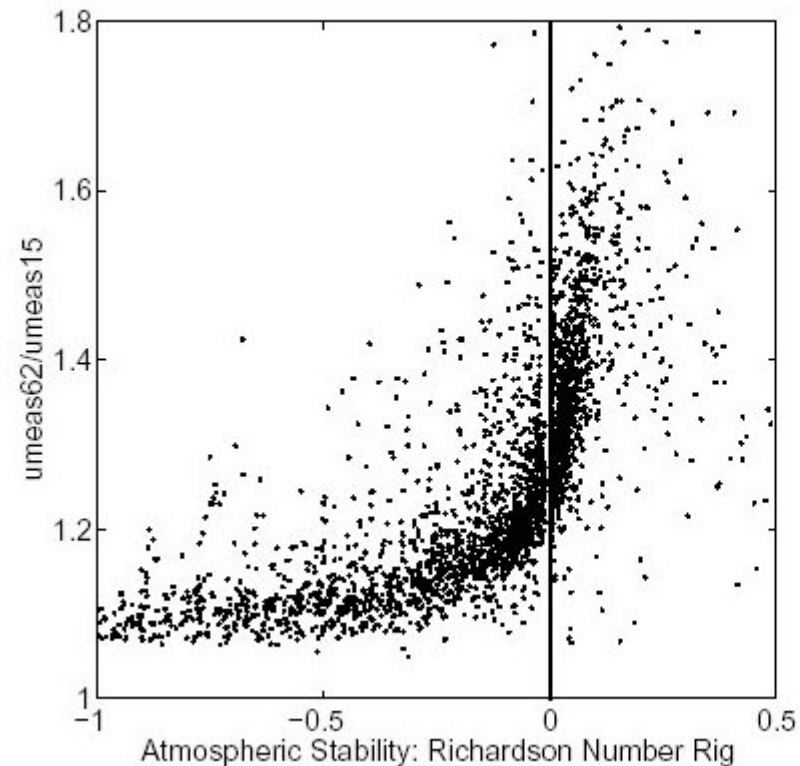


Figure 11:

Ratios between wind speeds at 62m and 15m height against the gradient Richardson Number Rig as a measure of stability of the atmospheric flow;

Winter period 10/2001 till 04/2002



Algumas Conclusões -I

- Todos os modelos de previsão para $<2\sim3$ horas exigem previsão numérica
- Os modelos mais usados utilizam o modelo **hidrostático** HIRLAM cuja malha é $>\sim 20$ Km
- O MM5 é **não hidrostático** e corre operacionalmente para Portugal com 9 Km
- Para < 9 Km interfaceia com CALMET



Algumas Conclusões -II

- A melhor solução é combinar Previsão Numérica + Estatística
- Seja qual for o modelo é sempre necessária a calibração local
- Quanto melhor a Previsão Numérica melhor o resultado final



Poluição Atmosférica

- A dispersão da poluição atmosférica e a localização dos pontos de medida impostos por lei tem sido baseada em modelos gaussianos rudimentares (p.ex. ISC3 ...)
- Modelos mais avançados preconizados pela EPA e AMS como o AERMOD exigem o conhecimento do campo 3D da velocidade
- A poluição a longa distancia é feita (no IST) com modelos lagrangianos(CALPUFF) utilizando o MM5+CALMET



Desenvolvimentos recomendáveis

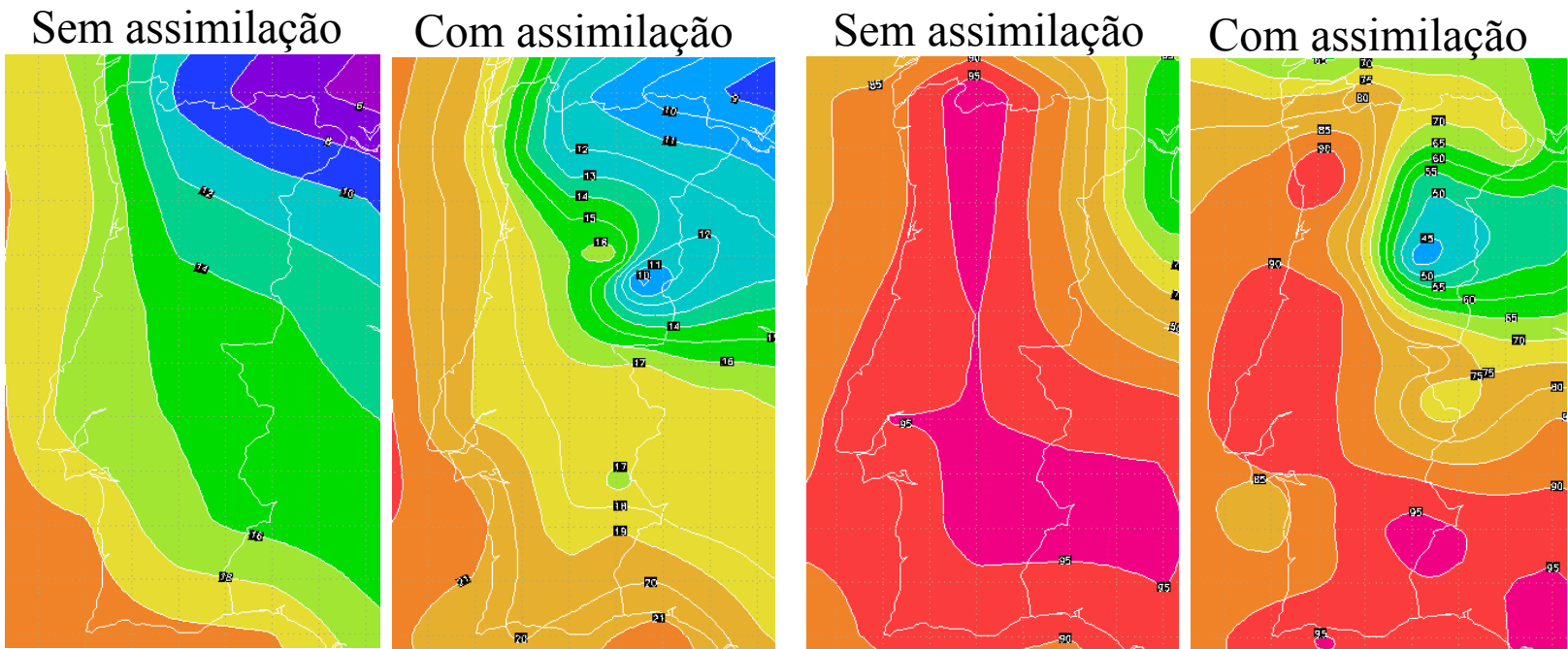
- Actualização da cartografia
- Actualização anual e sazonal de usos do solo
- Assimilação de dados para melhoria das previsões
- “Ensemble forecasting” para atribuição de probabilidades à previsão

DADOS METEOROLÓGICOS

Assimilação de Dados nas Condições Iniciais

Temperatura

Humidade Relativa



- Assimilação de dados
 - Método: Interpolação multiquadrática
 - Permite ‘recuperar’ estruturas mais finas



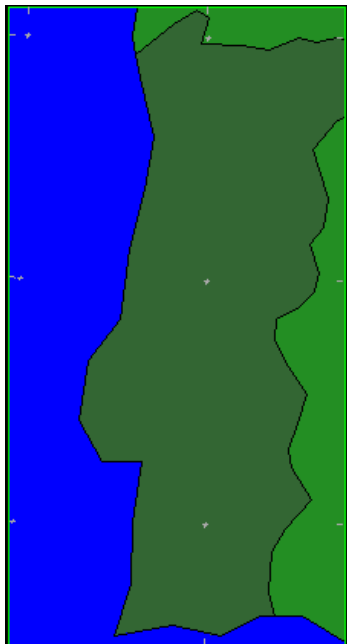
Sugestões de trabalho

- Integração dos dados da rede de monitorização:
 - Reanálise e assimilação para base de dados histórica
 - Assimilação de dados meteorológicos em tempo real para melhoria da previsão
- **Identificação de locais de potencial eólico elevado**
- Previsão de produção dos parques eólicos
- Previsão de caudais afluentes a barragens
- Previsão de consumos de electricidade (aquecimento e arrefecimento)
- Previsão de perdas na rede
- Previsão de poluição atmosférica, localização dos pontos de medida e gestão do tipo de combustível.

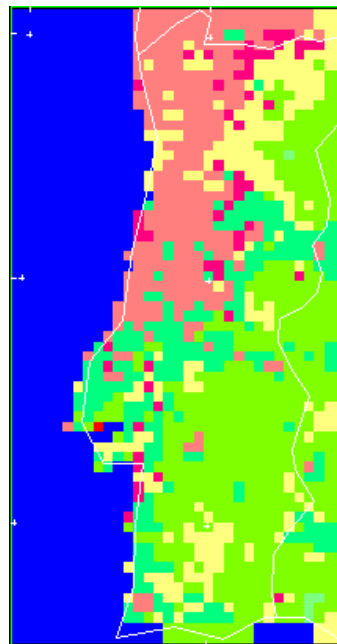
IDMEC 19.09.2005

Dados - Terreno

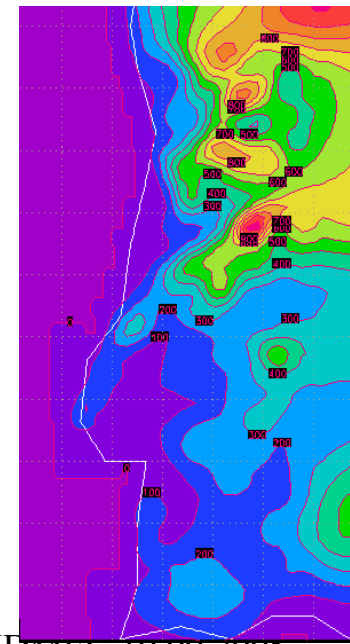
Domínio 3



**Usos do solo
25 classes**

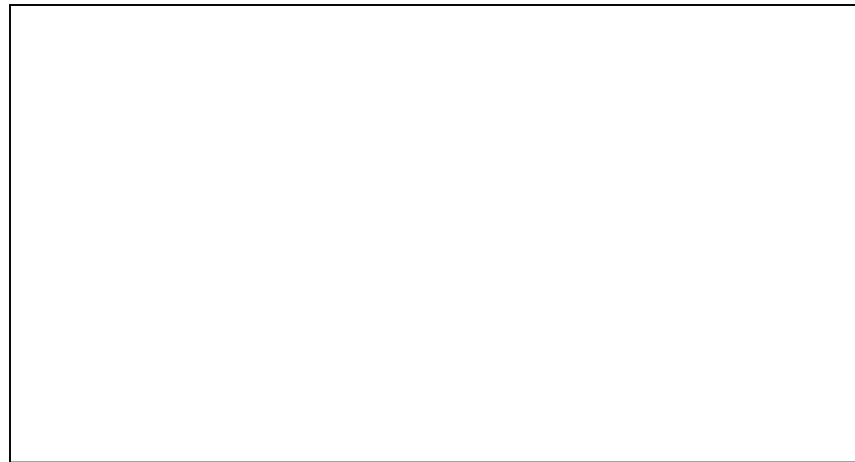


Topografia





Spatial Resolution Optimization for Wind Forecast



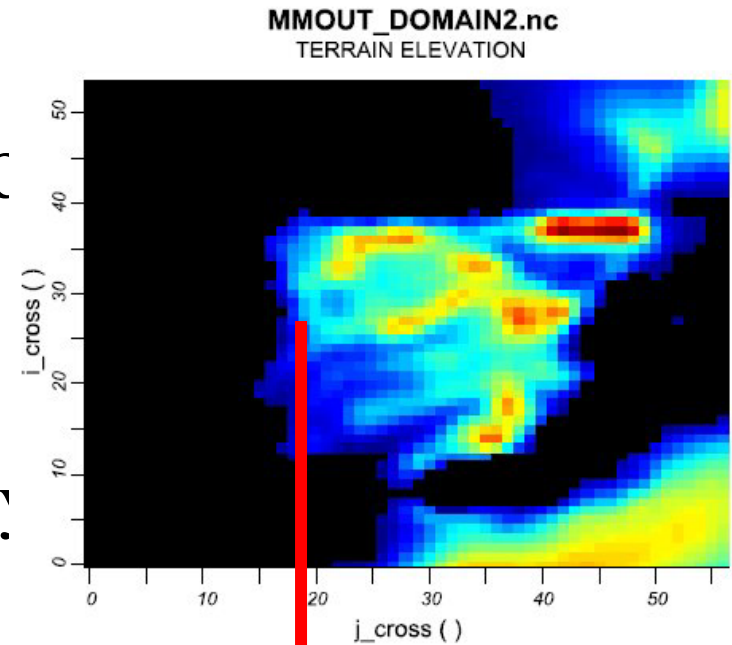
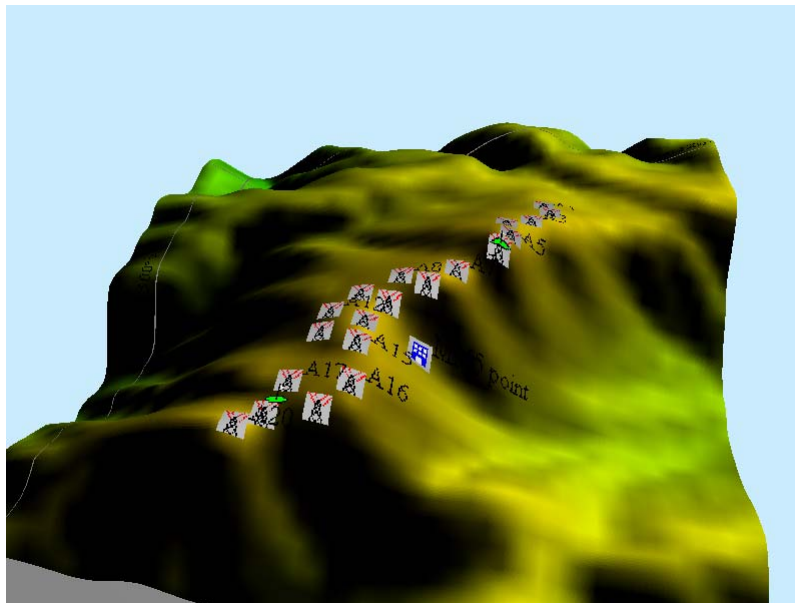


Objectives

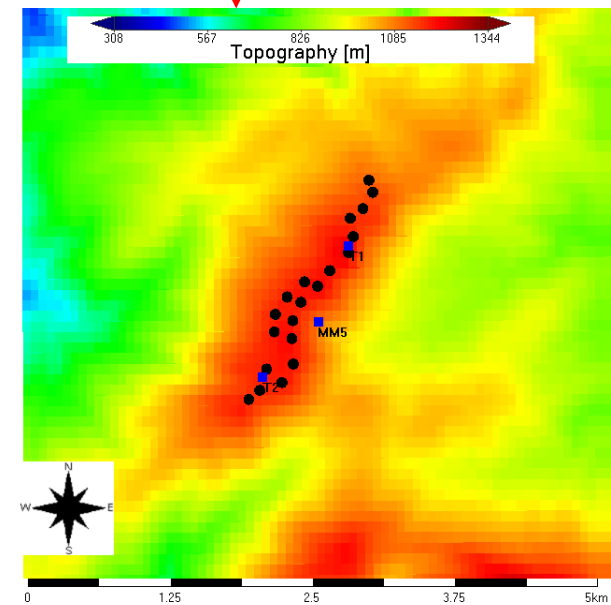
- Provide wind forecast for Eolic Parks
 - Find the best spatial resolution with the lowest computational cost.
-
- Validation of MM5 wind output
 - Verification of the need of running a more refined diagnostic model (CALMET)

Simulation Cc

- MM5:
 - 30 vertical layers (1st layer ~10km)
 - 1-way nesting of domains



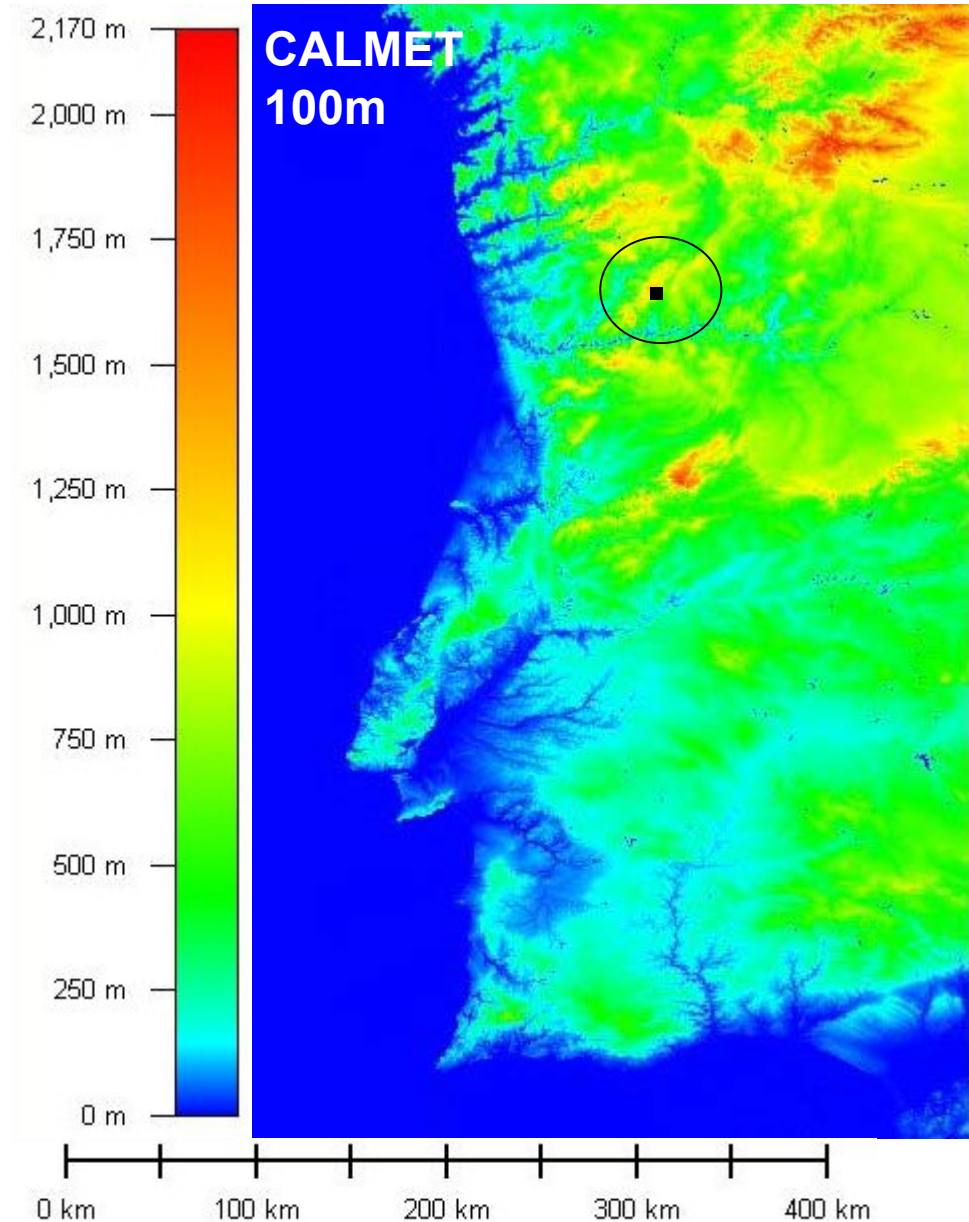
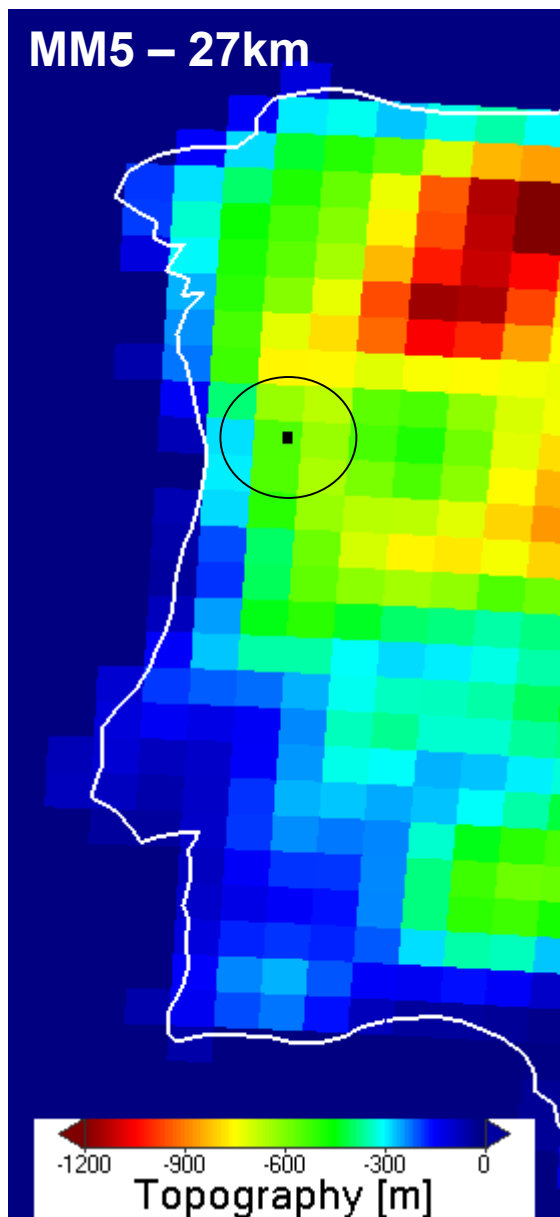
1 ~





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Spatial Resolution Details

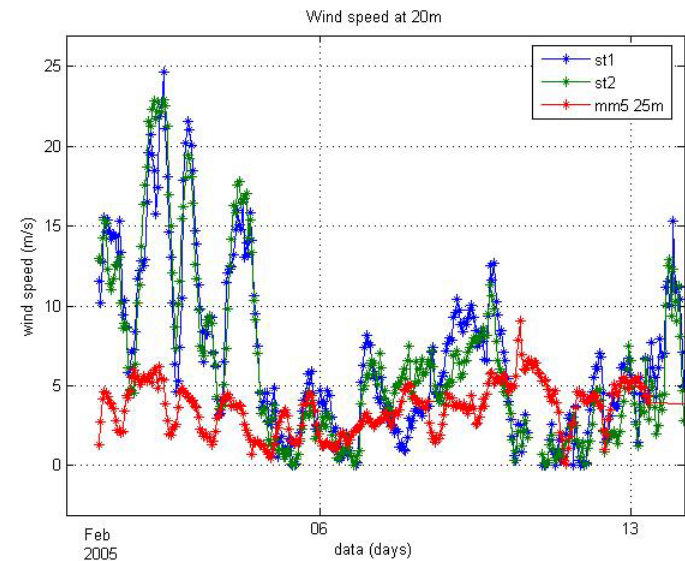
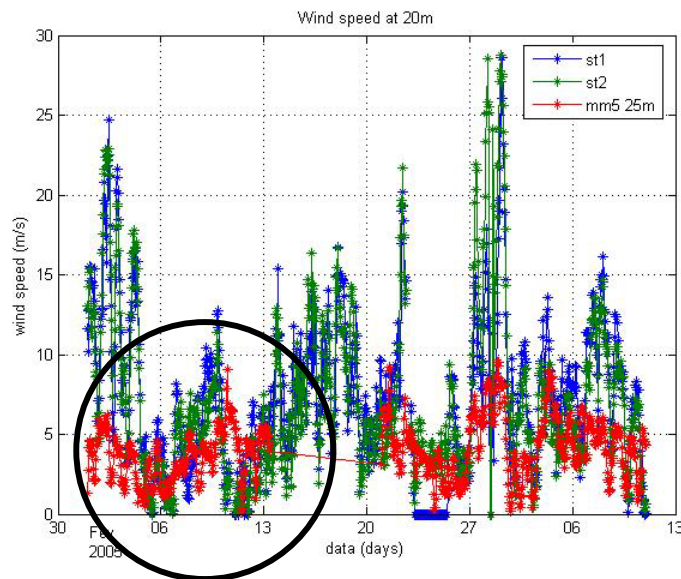




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

MM5 wind speed

- 2 meteorological stations measure at 20m and 40m
- Compare with D2 (~27km) for February and March 2005

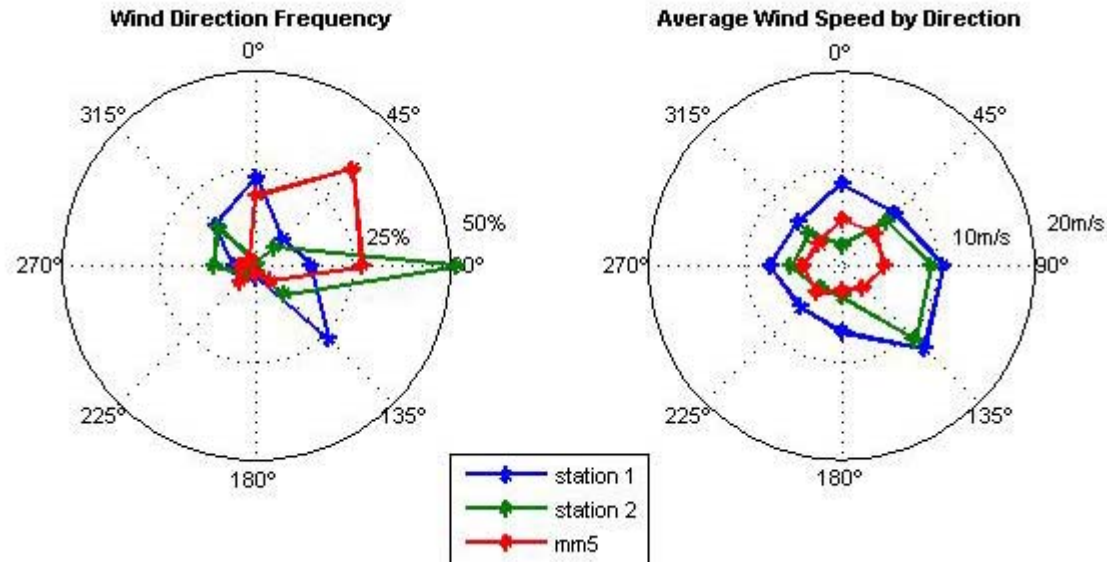




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

MM5 wind direction

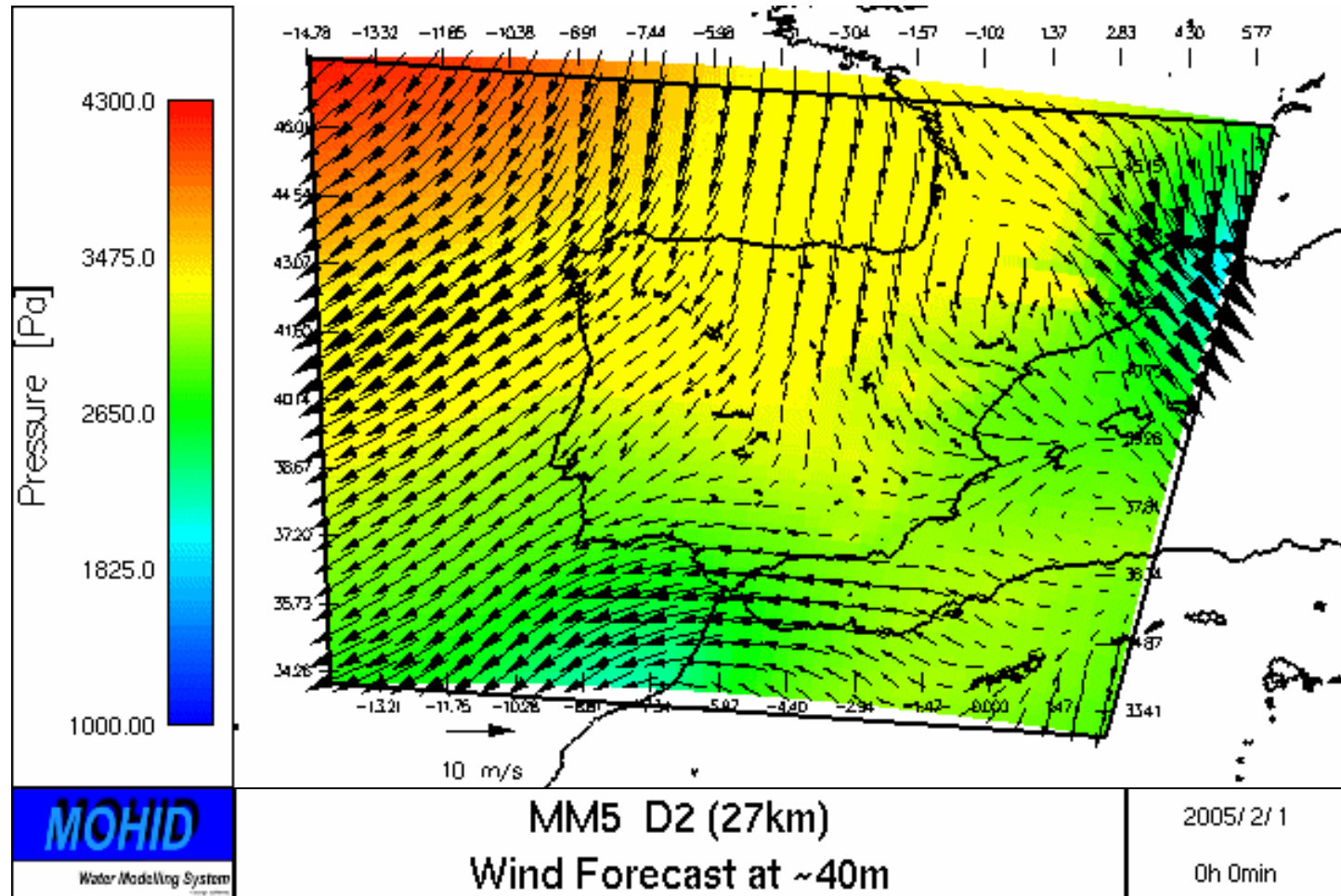
- Comparison at 40m
- Wind predominant directions are different for each station (complex topography)
- SE winds have the highest speeds
- MM5 does not comply with measured wind direction
- **May CALMET improve results?**





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

MM5 D2 (~27km)

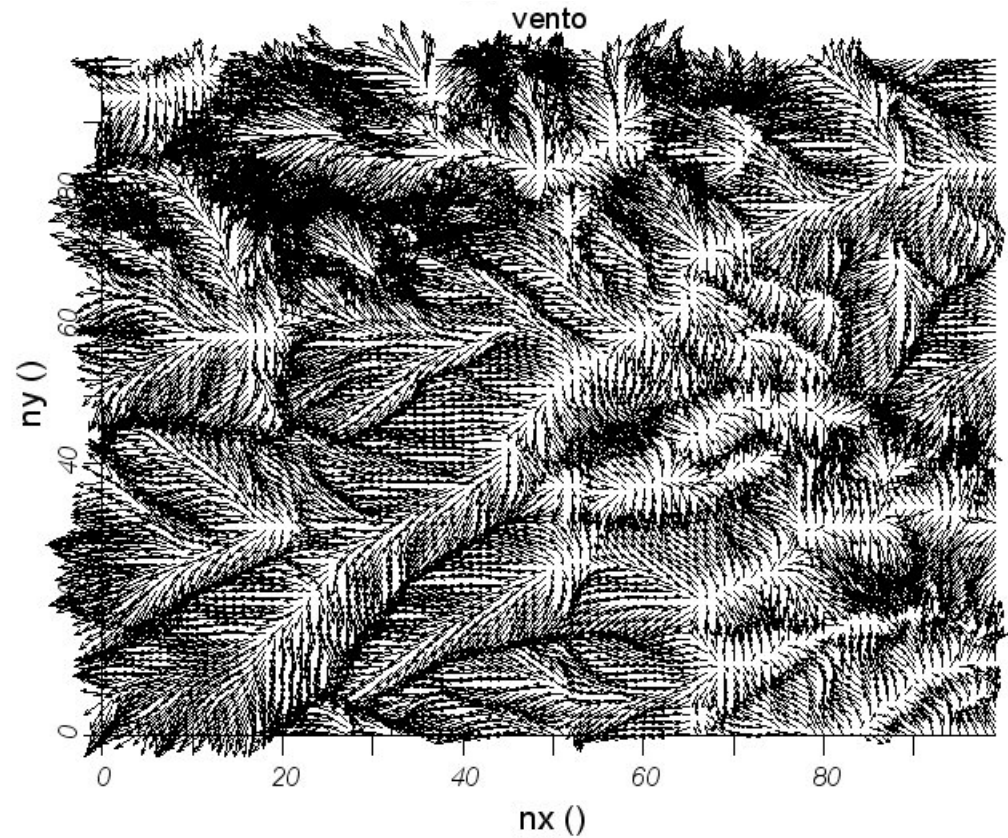




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

CALMET from MM5 D2

- CALMET integrates the orography details into wind
- Where MM5 has 1 grid points

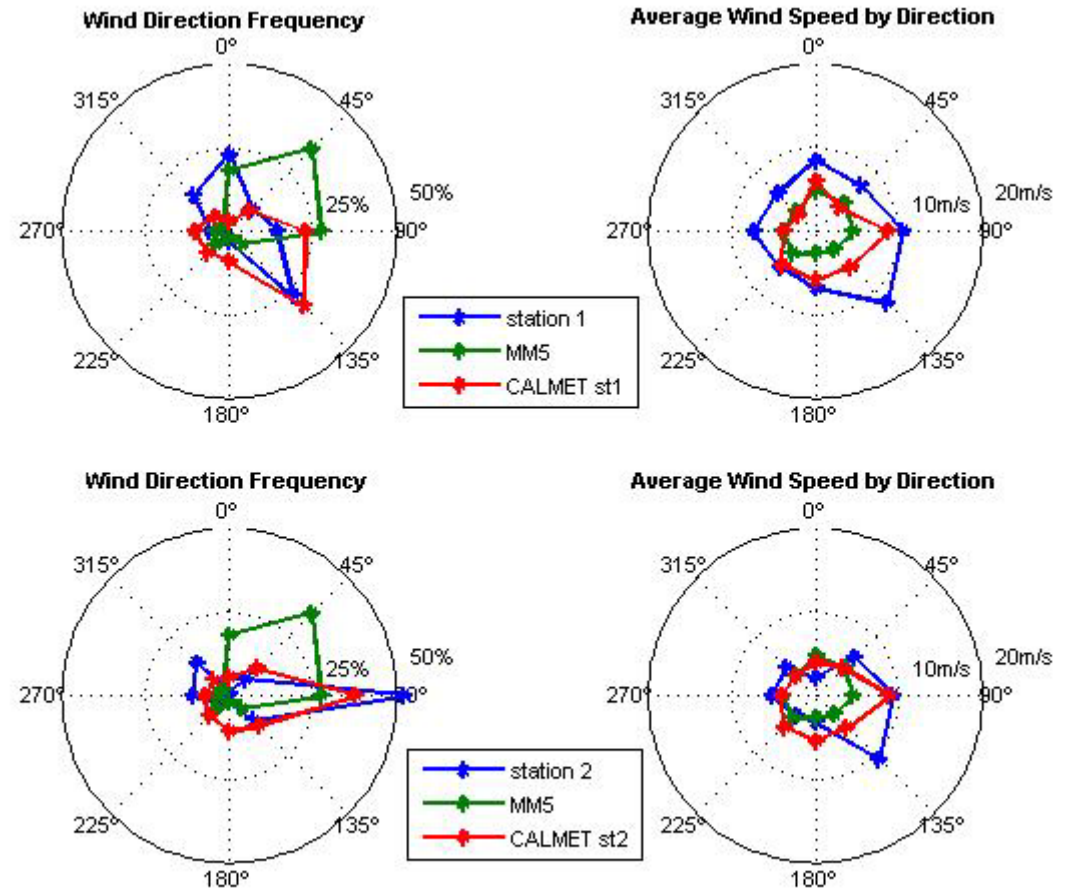


→ 3 vento [nx=0:99, time=2005-02-09 00:00:00, nz=0, ny=0:99]



CALMET from MM5 D2

- Improves wind direction and intensity forecast
- Different results for the 2 stations





Conclusions

- MM5 is a well tested model but is computationally heavy.
- CALMET is computationally light and can diagnostic winds for high spatial resolution, but needs correct boundary conditions.
- MM5 can provide the correct boundary conditions.
- With BC given by MM5 27km:
 - CALMET simulates the predominant wind directions.
 - Both models underestimate wind speed.



Future Work

- Decrease MM5 spatial resolution (9km, 3km 1km), and input results into CALMET (100m).
- Verify the best relation quality of results/ computational time to determine adequate spatial resolution.
- Use several case studies, with different orography patterns.