



I WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE MODELAGEM DA ATMOSFERA APLICAÇÕES NA ÁREA DE ENERGIA EÓLICA

CTGAS-ER | NATAL-RN
14 e 15 junho de 2018

Previsões do Vento e da Geração Eólica: Pesquisas no LEPTEN/UFSC

Nome: Isadora Limas Coimbra

Instituição: LEPTEN/UFSC

Função: Mestranda em Engenharia Mecânica

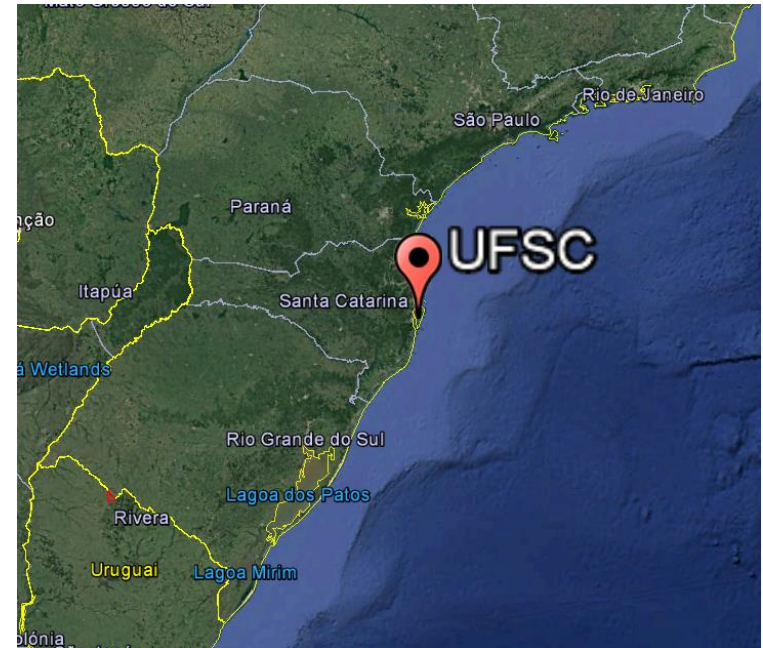


LEPTEN

Laboratórios de Engenharia e Processos de Conversão e Tecnologia de Energia

UFSC - Florianópolis - Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica



LEPTEN

- Desde 2002 trabalhando com projetos de P&D na área de **Previsão de Energia Eólica**

- P&D Celesc – 2002 a 2004
 - Gerente: Eng. Wilson Reguse
 - Coordenador: Prof . Júlio César Passos
- P&D UFSC – IFSC – ENGIE Brasil – 2011 a 2014
 - Gerente: Eng. Frederico de Freitas Taves
 - Coordenador: Prof . Júlio César Passos
- P&D UFSC – IFSC – Atlantic Energias Renováveis S.A. 2017 a 2019
 - Gerente: Eng. Eduardo Dias
 - Coordenador: Prof . Júlio César Passos



LEPTEN

Teses



1+2

Dissertações



4+3

TCCs



6+1

- Análise de viabilidade técnica e econômica de parques/pequenos AGs
- MCP
- Turbulência
- Efeito Esteira
- LiDAR e Anemômetro Sônico 3D
- Produção Anual de Energia
- Tratamento de dados anemométricos e de geração
- Previsão do vento e geração a curto prazo:
 - WRF
 - Redes Neurais
 - Deep Learning
- Tendência sazonal do vento (3 meses)



LEPTEN – Equipe atual

- Coordenador: Dr. Júlio César Passos
- Professores:
 - Dr. Reinaldo Haas
 - Dr. Yoshiaki Sakagami
 - Dr. Jorge Luis Goes Oliveira
- Doutorandos:
 - Franciene de Sá
 - William Radunz
- Mestrandos:
 - Isadora Limas Coimbra
 - Mônica Nassar Machuca
 - João Gabriel de Farias
- Graduandos:
 - Lucas Willrich
 - Marcelo Nakata
 - Thyago Kronbauer



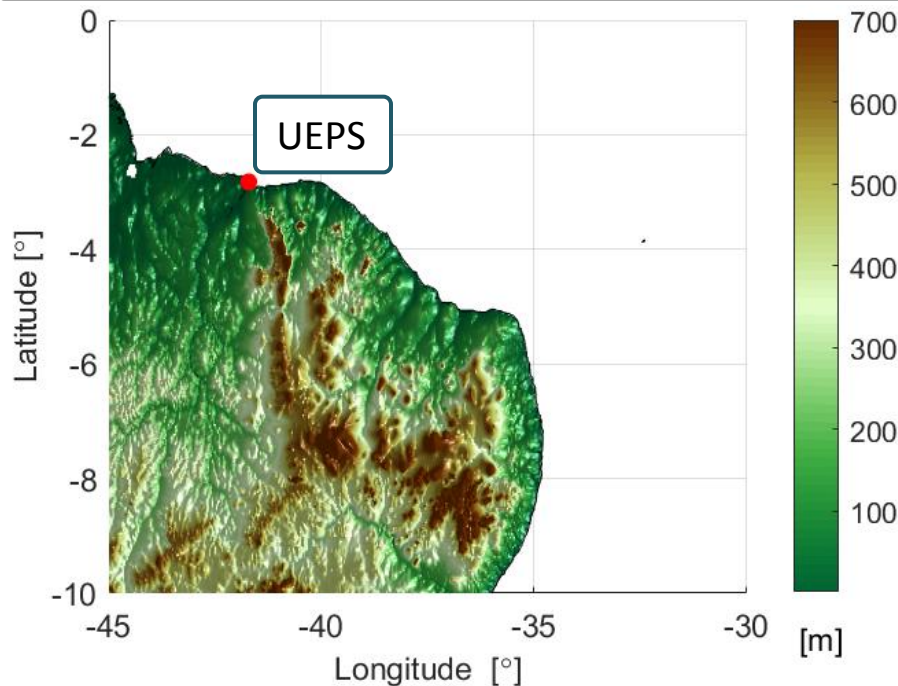
P&D ENGIE

USINA EÓLICA DE PEDRA DO SAL (PI)
USINA EÓLICA DE BEBERIBE (CE)

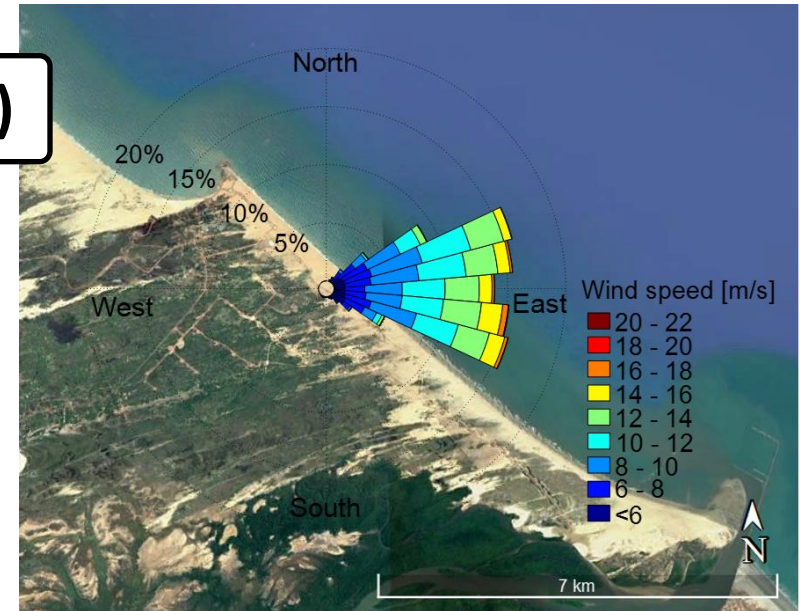


P&D Tractebel Energia

Usina Eólica de Pedra do Sal (UEPS)



- Localizada em Parnaíba – Piauí
- Terreno simples
- 300 m do Oceano Atlântico
- Ventos alísios



20 AG 900 kW

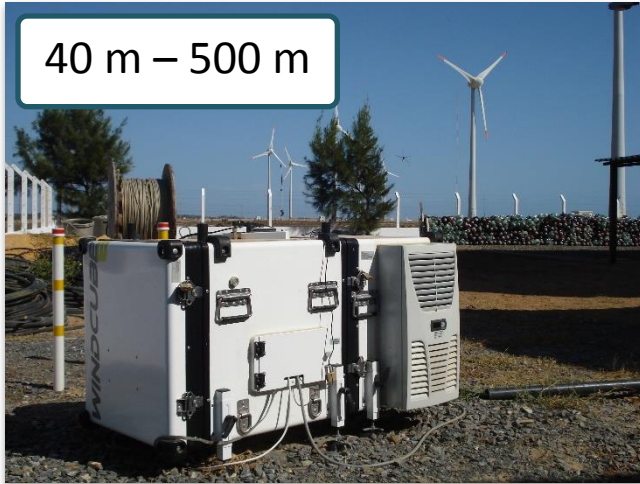
- 55 m altura
- 42 m rotor



P&D Tractebel Energia

Instrumentação

40 m – 500 m



LiDAR – Windcube 8
(Leosphere)

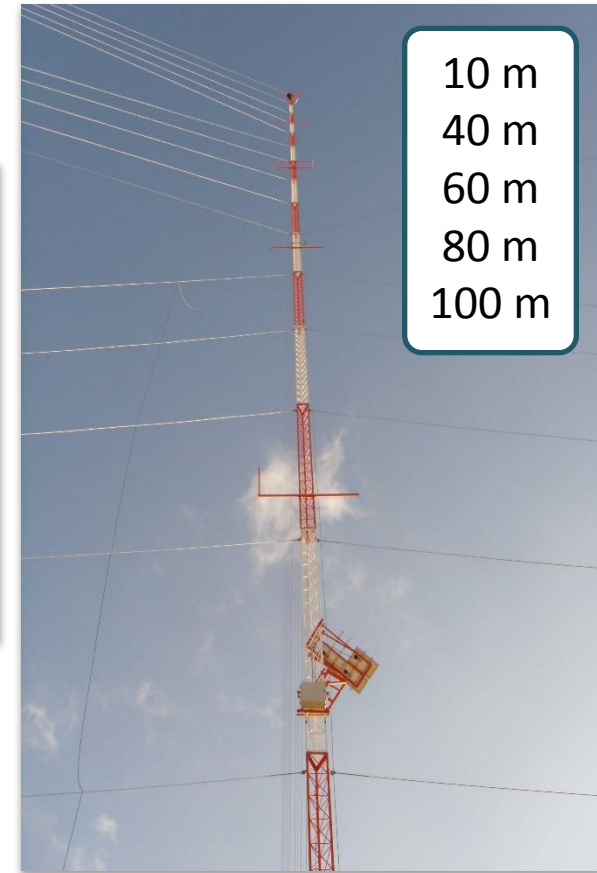
20 m
100 m



Anemômetro
sônico 3D (20 Hz)

1 ano de medições contínuas (08/13 – 09/14)

10 m
40 m
60 m
80 m
100 m



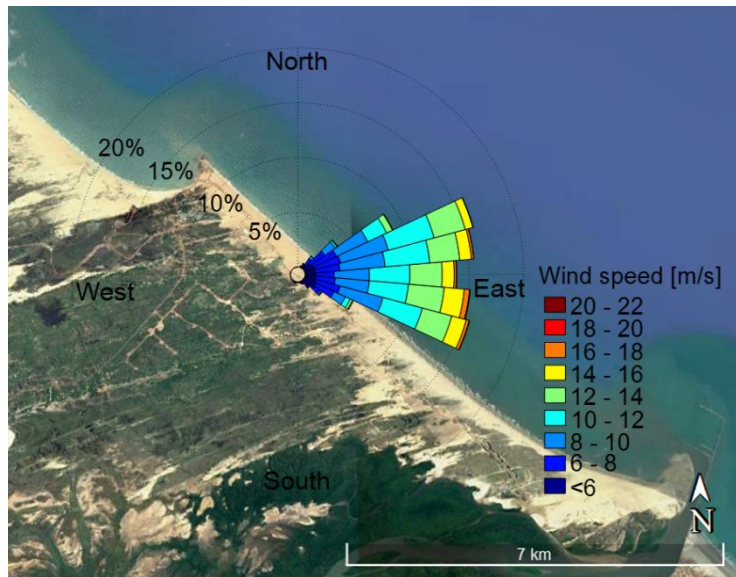
Torre anemométrica
100 m

P&D Tractebel Energia

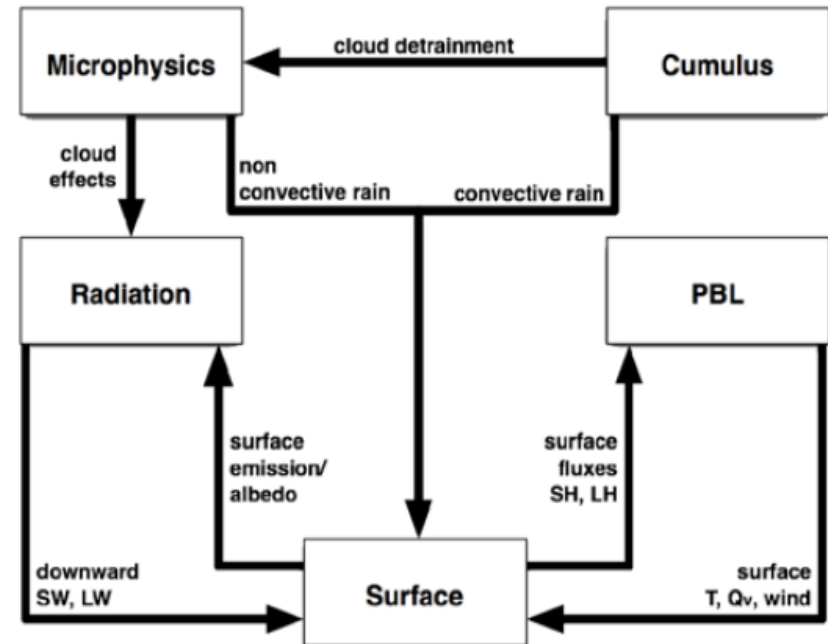
WRF – Weather Research and Forecasting model

Solver ARW (Advanced research WRF)

- Modelo de previsão atmosférica de mesoescala
- Não hidrostático e baseado nas equações de Euler
- Diferenças finitas



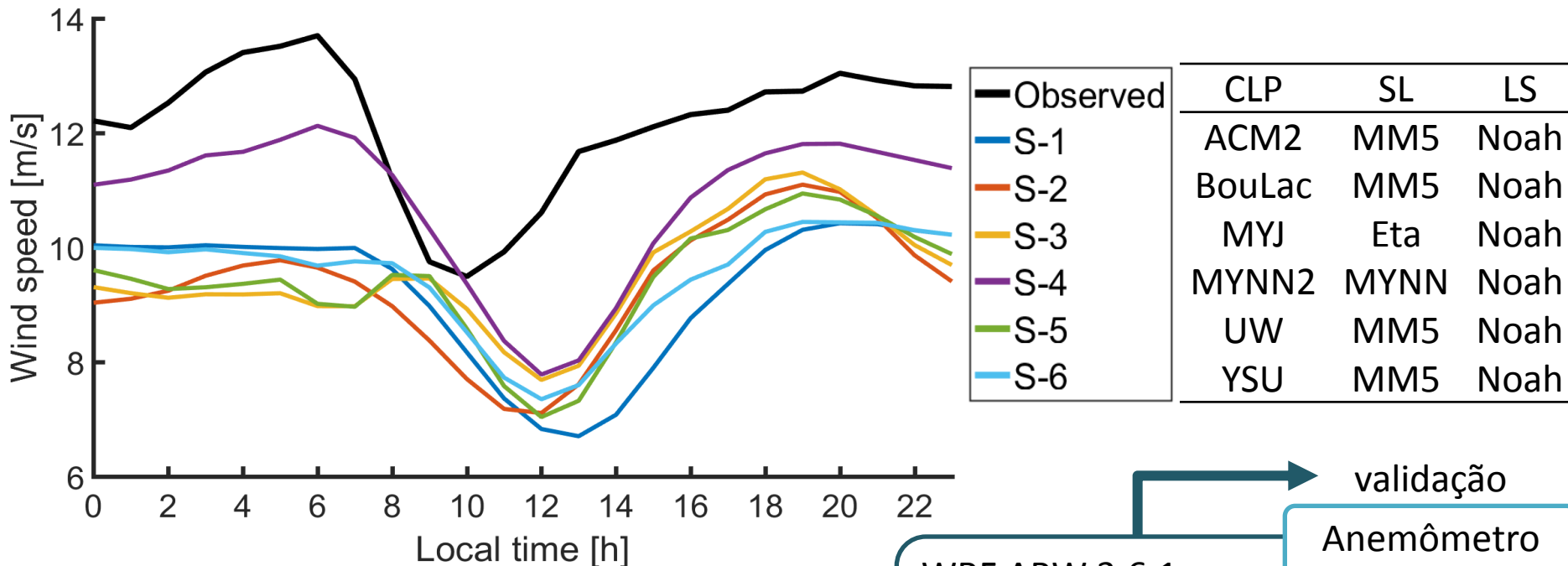
Parametrizações físicas
que interagem de forma
não linear



Fonte: Dudhia (2014)

P&D Tractebel Energia

Sensibilidade da Parametrização de CLP



Objetivo: Identificar os esquemas de camada limite que melhor representam as características locais do vento na UEPS

simulação

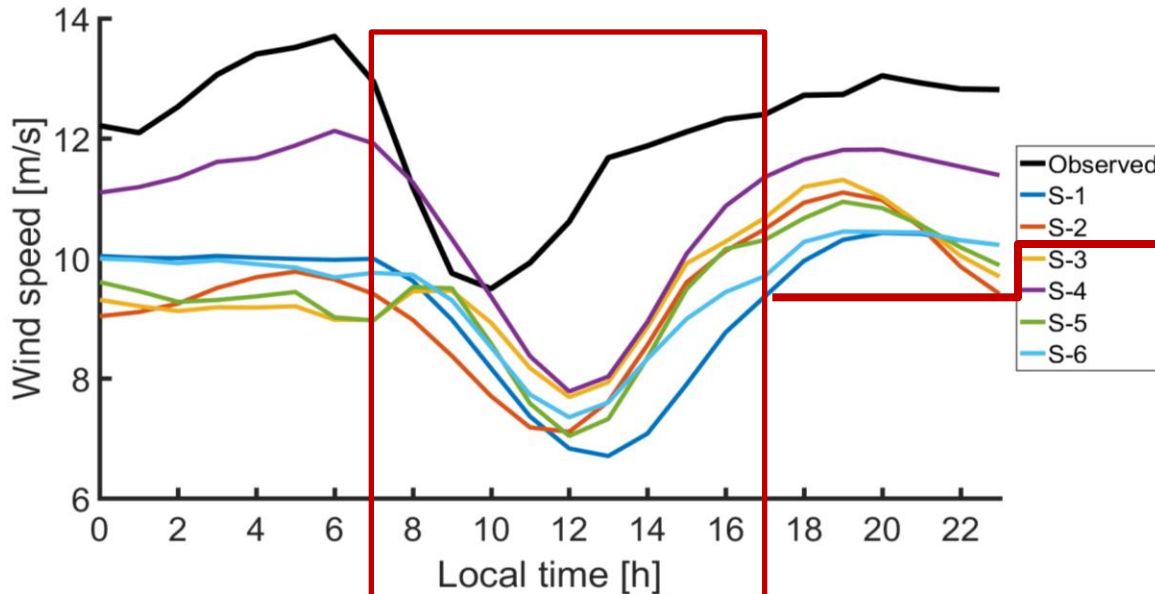
WRF ARW 3.6.1
D1: 15 x 15 km
Horizonte previsão: 120 h
Período: Set/2013
Interpolação horiz.: ON-T
Interpolação vert.: 98 m

validação

Anemômetro de copo (98 m)

P&D Tractebel Energia

Sensibilidade da Parametrização de CLP

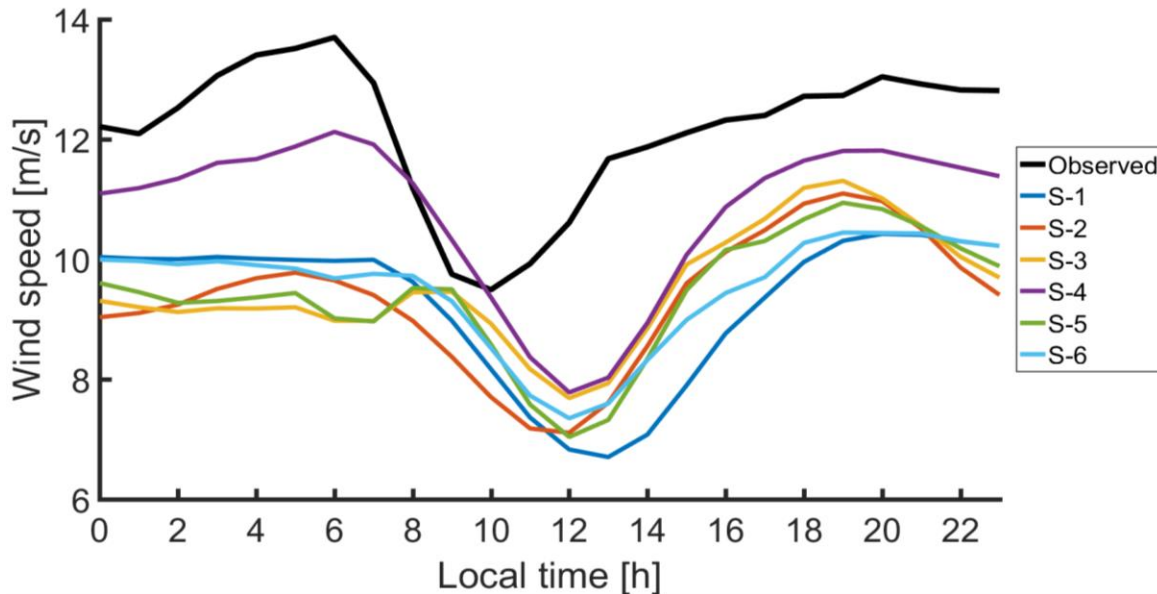


1. Todas as configurações subestimaram a velocidade do vento
2. Atraso na representação da velocidade mínima do dia (~ 2 h)
3. MYNN2-MYNN-Noah: menores erros

	CLP	SL	LS	RMSE [m/s]	Bias [m/s]
S-1	ACM2	MM5	Noah	3.17	-2.89
S-2	BouLac	MM5	Noah	3.09	-2.83
S-3	MYJ	Eta	Noah	3.02	-2.64
S-4	MYNN2	MYNN	Noah	2.15	-1.37
S-5	UW	MM5	Noah	3.11	-2.77
S-6	YSU	MM5	Noah	2.98	-2.67

P&D Tractebel Energia

Sensibilidade da Parametrização de CLP



S-4 (MYNN2-MYNN-Noah)
x
S-1 (ACM-MM5-Noah)

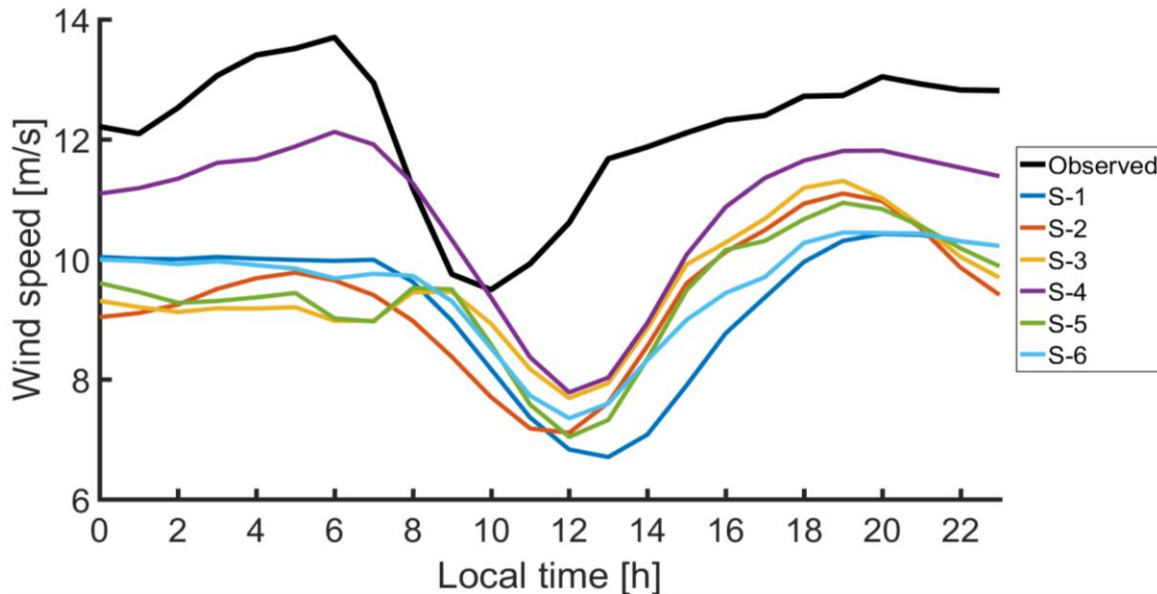
32,2% RMSE

52,6% Bias

	CLP	SL	LS	RMSE [m/s]	Bias [m/s]
S-1	ACM2	MM5	Noah	3,17	-2,89
S-2	BouLac	MM5	Noah	3,09	-2,83
S-3	MYJ	Eta	Noah	3,02	-2,64
S-4	MYNN2	MYNN	Noah	2,15	-1,37
S-5	UW	MM5	Noah	3,11	-2,77
S-6	YSU	MM5	Noah	2,98	-2,67

P&D Tractebel Energia

Sensibilidade da Parametrização de CLP



Configuração padrão

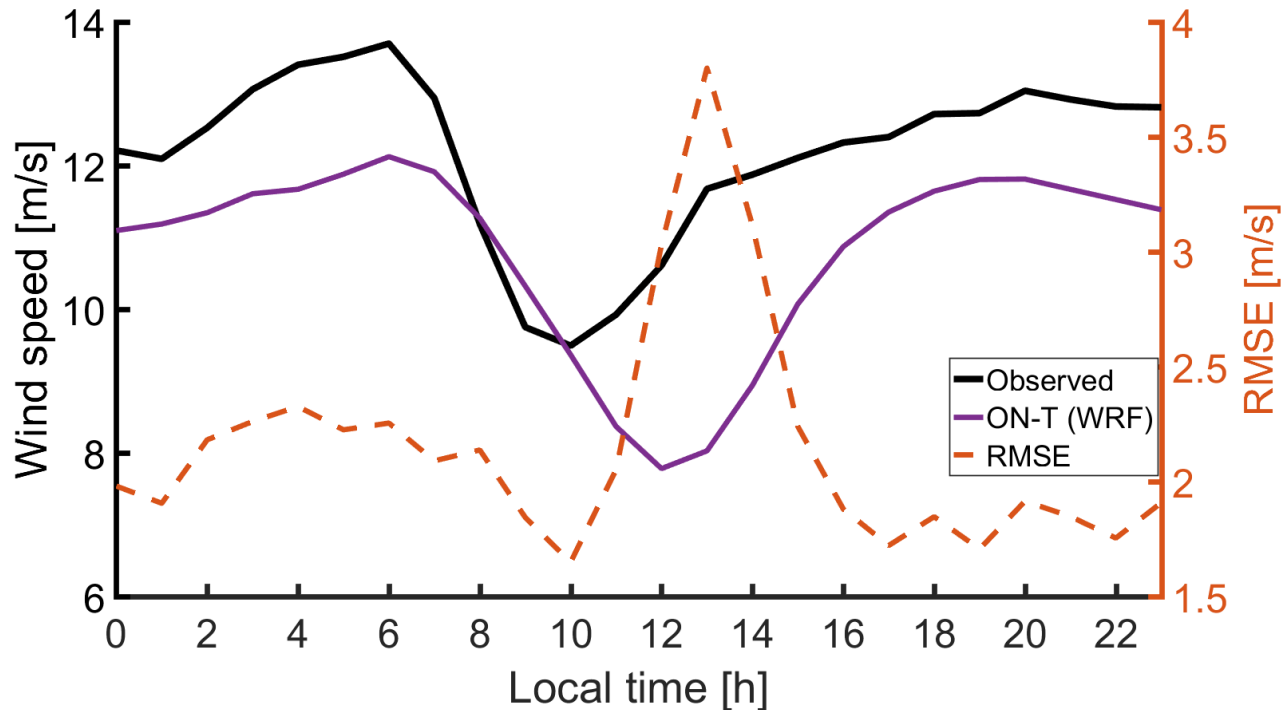
S-4 MYNN2-MYNN-Noah)
x
S-6 (YSU-MM5-Noah)

27,8% RMSE

48,7% Bias

	CLP	SL	LS	RMSE [m/s]	Bias [m/s]
S-1	ACM2	MM5	Noah	3.17	-2.89
S-2	BouLac	MM5	Noah	3.09	-2.83
S-3	MYJ	Eta	Noah	3.02	-2.64
S-4	MYNN2	MYNN	Noah	2.15	-1.37
S-5	UW	MM5	Noah	3.11	-2.77
S-6	YSU	MM5	Noah	2.98	-2.67

P&D Tractebel Energia



Para tentar minimizar a:

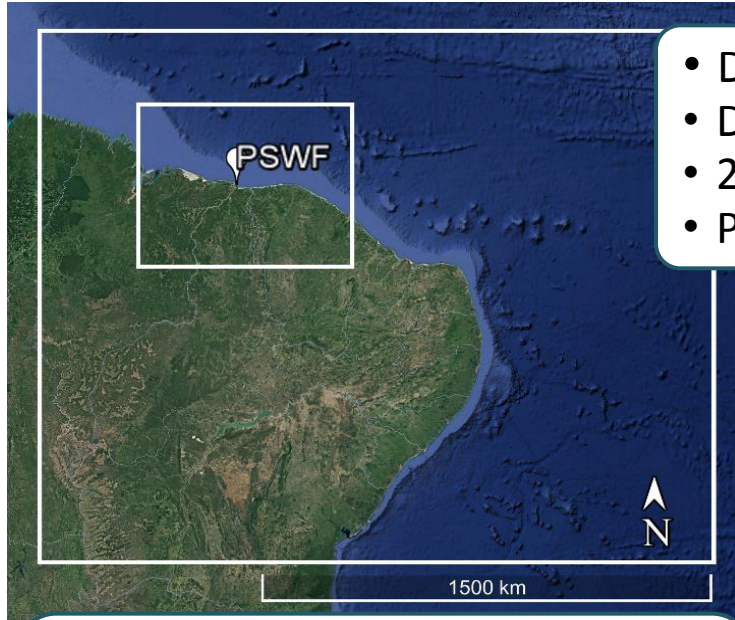
1. Subestimação da velocidade do vento
2. O atraso na representação da velocidade mínima do dia
3. O erro

investigado
→

Interpolação horizontal dos dados do WRF em locais diferentes da grade de simulação

P&D Tractebel Energia

Interpolação horizontal



- D1: 15 x 15 km
- D2: 5 x 5 km
- 27 níveis verticais
- Período: Set/2013

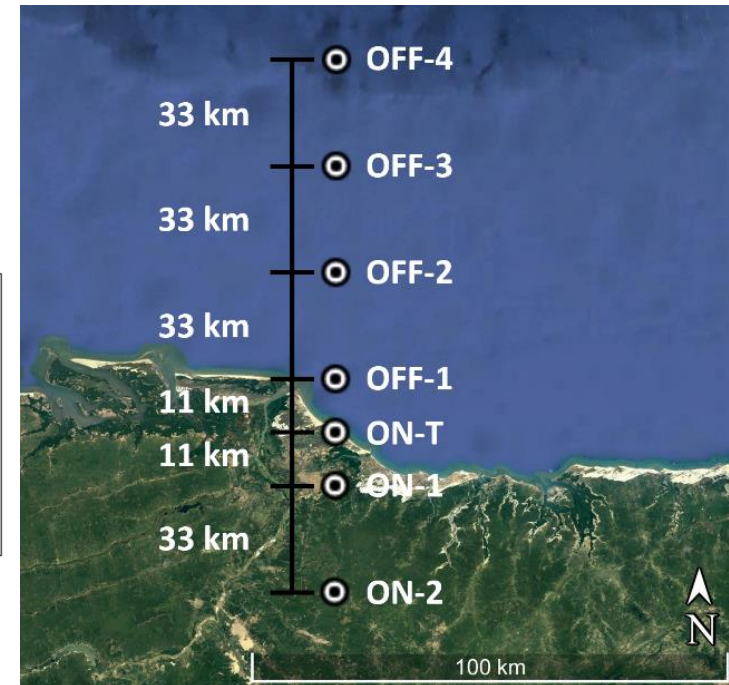
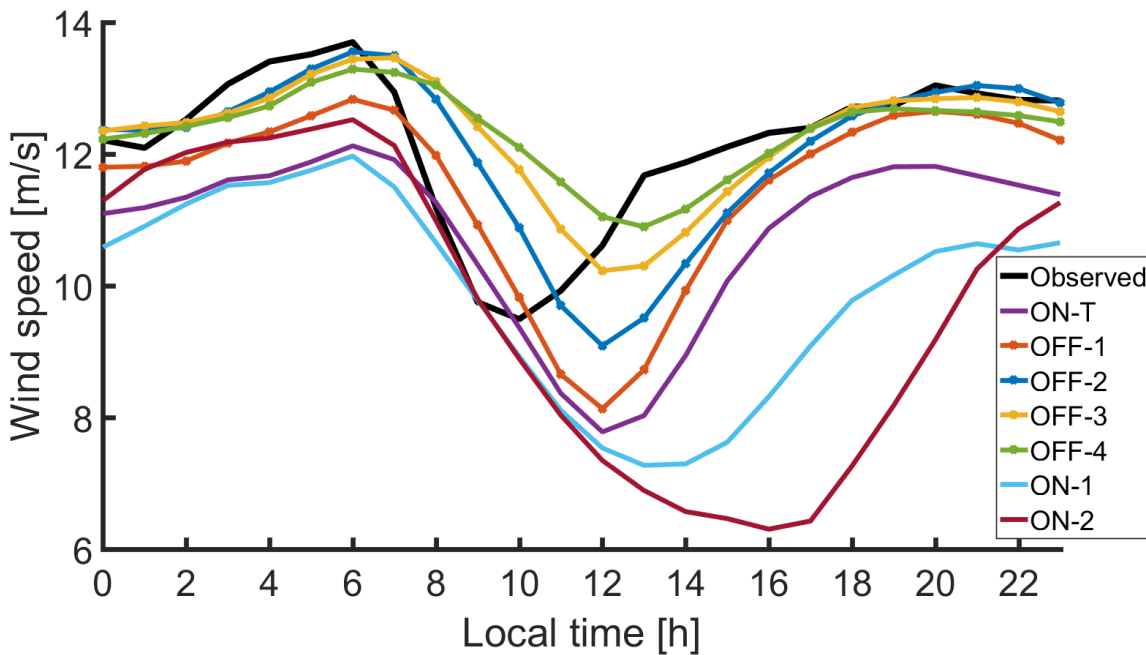
- Camada limite planetária: MYNN2
- Camada limite: MYNN
- Land surface: Noah
- Microfísica: WRF DM-5
- Radiação longa: RRTM
- Radiação curta: Dudhia
- Cumulus: KF



	Pontos	Latitude (°)	Longitude (°)
4 OFF	OFF-4	-2.122792	-41.713890
	OFF-3	-2.322792	-41.713890
	OFF-2	-2.522792	-41.713890
	OFF-1	-2.722792	-41.713890
3 ON	ON-T	-2.822792	-41.713890
	ON-1	-2.922792	-41.713890
	ON-2	-3.122792	-41.713890

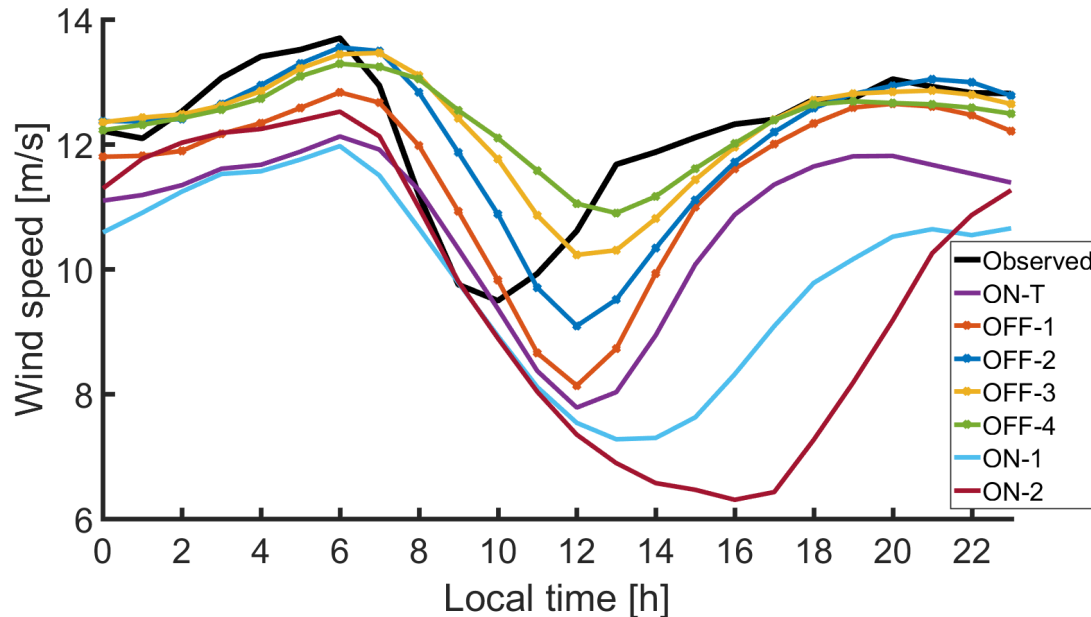
P&D Tractebel Energia

Interpolação do WRF com Simulações de 1 Domínio



P&D Tractebel Energia

Interpolação do WRF com Simulações de 1 Domínio



Quando mais onshore o local de interpolação, maior a subestimação e atraso entre as velocidades simuladas e a observada

Pontos	RMSE [m/s]	Bias [m/s]
ON-T	2.15	-1.37
OFF-1	1.83	-0.67
OFF-2	1.72	-0.10
OFF-3	1.74	0.12
OFF-4	1.77	0.17
ON-1	2.83	-2.25
ON-2	3.28	-2.52

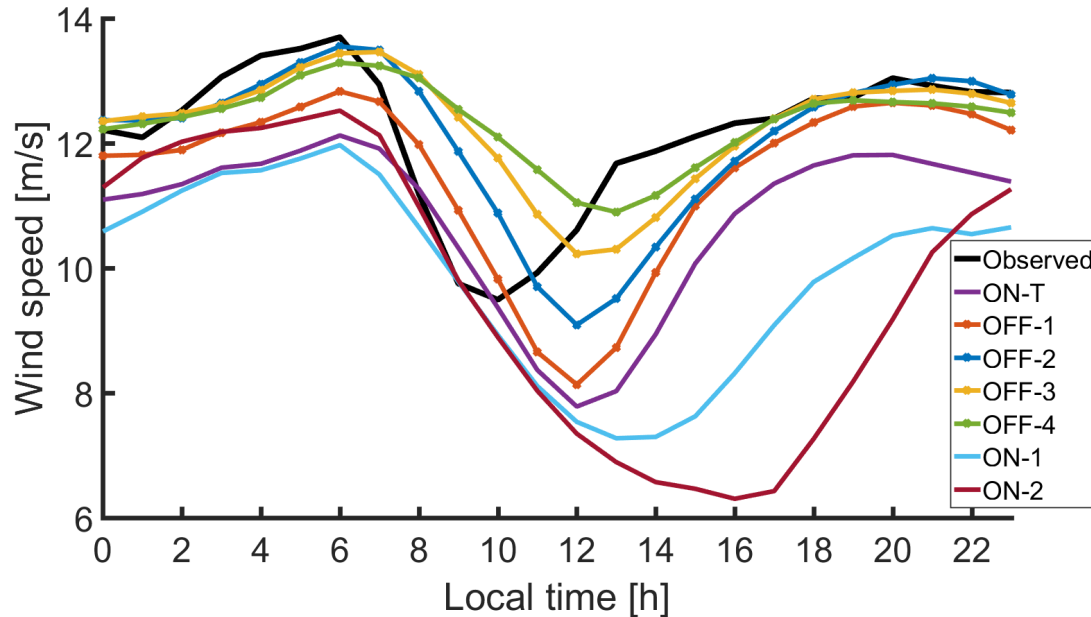
+ Onshore

↑ Bias

↑ RMSE

P&D Tractebel Energia

Interpolação do WRF com Simulações de 1 Domínio



Dados interpolados em **OFF-2** apresentaram os menores erros

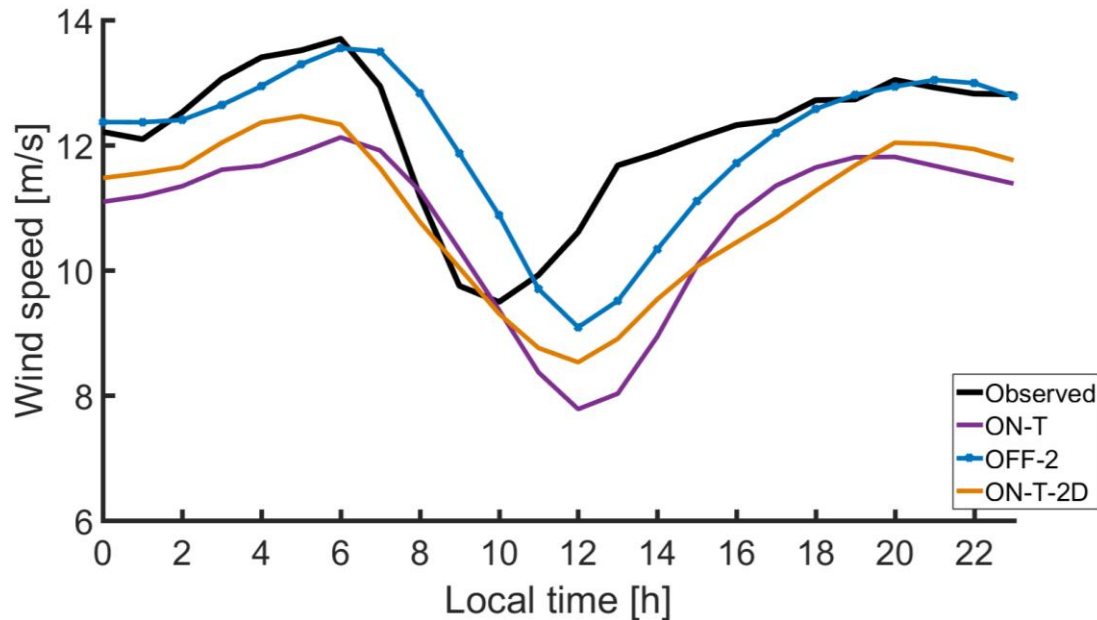
Pontos	RMSE [m/s]	Bias [m/s]
ON-T	2.15	-1.37
OFF-1	1.83	-0.67
OFF-2	1.72	-0.10
OFF-3	1.74	0.12
OFF-4	1.77	0.17
ON-1	2.83	-2.25
ON-2	3.28	-2.52

comum
ON-T x OFF-2

20% RMSE
92,7% Bias

P&D Tractebel Energia

Interpolação do WRF com Simulações de 1 e 2 Domínios



Simulação com um domínio aninhado interpolado na posição da torre (ON-T-2D)

ON-T-2D x ON-T

Pontos	RMSE [m/s]	Bias [m/s]
ON-T	2.15	-1.37
OFF-2	1.72	-0.10
ON-T-2D	1.74	0.12



7,4% RMSE

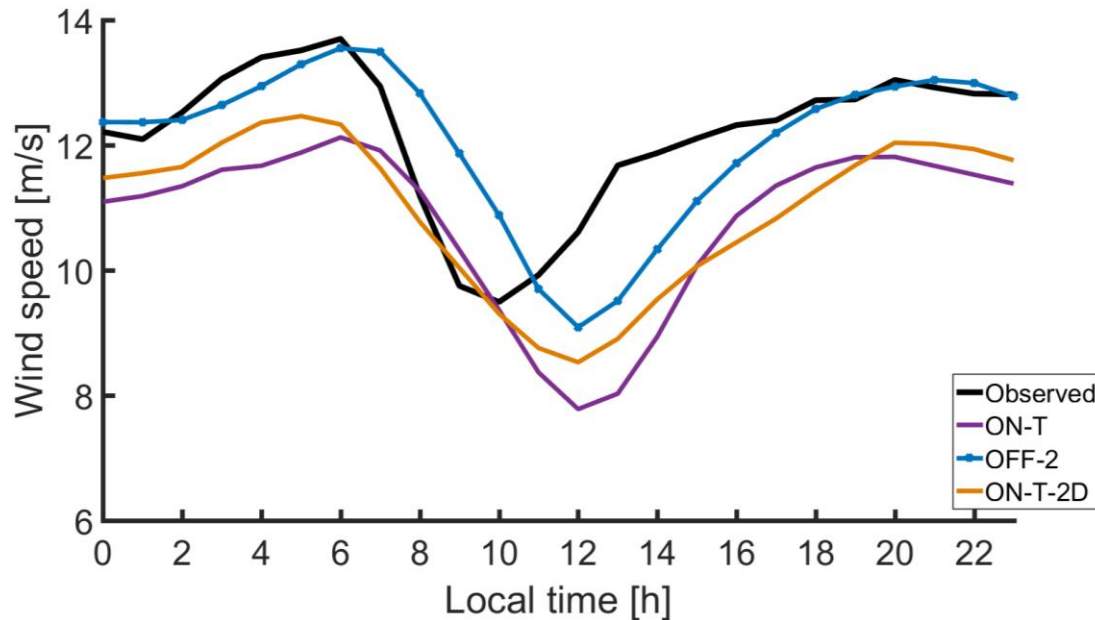


13,9% Bias



P&D Tractebel Energia

Interpolação do WRF com Simulações de 1 e 2 Domínios



Condição offshore
dos ventos na UEPS



OFF-2: menores
erros

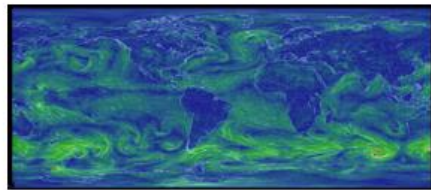
Vantagem da
interpolação horizontal:

- menor tempo computacional
- menores erros

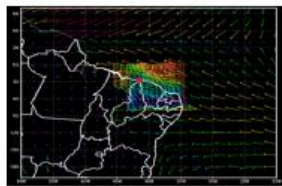
Pontos	RMSE [m/s]	Bias [m/s]
ON-T	2.15	-1.37
OFF-2	1.72	-0.10
ON-T-2D	1.74	0.12

P&D Tractebel Energia

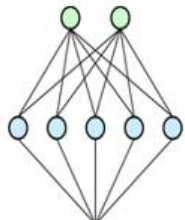
Simulação da Geração Eólica com RNA



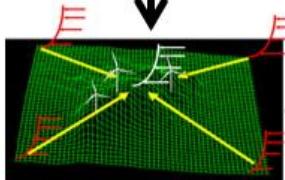
Global weather prediction
(GFS)



Mesoscale prediction (WRF)

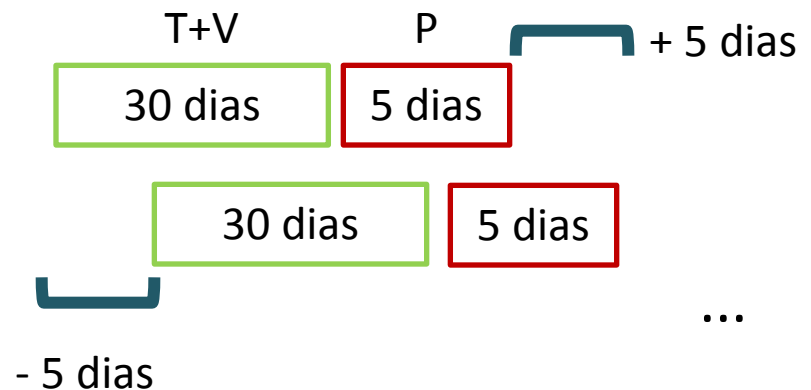


Artificial Neural Network



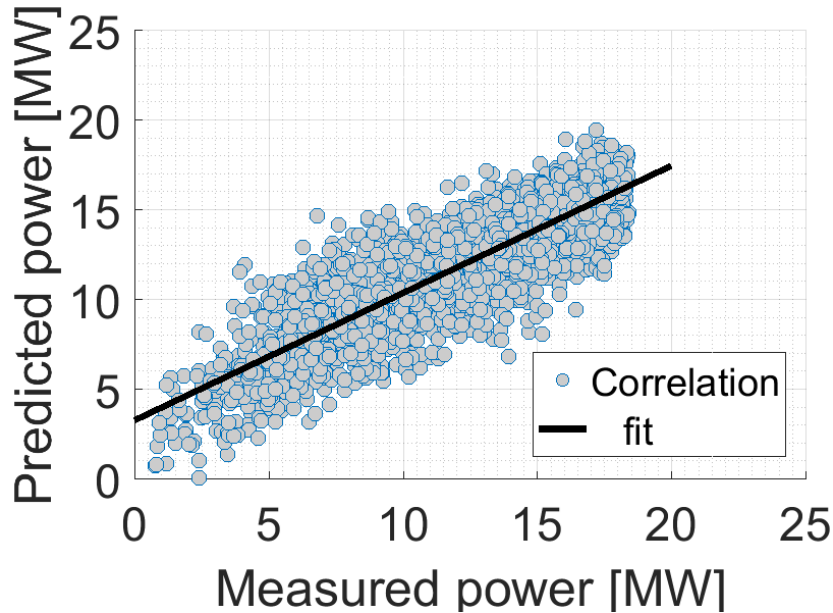
Wind Power Prediction

- Treinamento e validação: 30 dias
- Previsão: 5 dias
- Período: 08 – 12/2013
- Dados de entrada: Previsão do WRF interpolada no local OFF-2
- Dado de saída: Previsão total da geração eólica na UEPS



P&D Tractebel Energia

Simulação da Geração Eólica com RNA



- 20 Neurônios na camada escondida
- 9 Neurônios na camada de entrada
 - Velocidade vento em 5 níveis
 - Direção do vento
 - Temperatura
 - Pressão
 - Umidade
- 1 Neurônio na camada de saída
 - Geração total do parque

2,01 MW RMSE
-0,07 MW Bias

18 MW

11,17% NRMSE
0,40% NBias

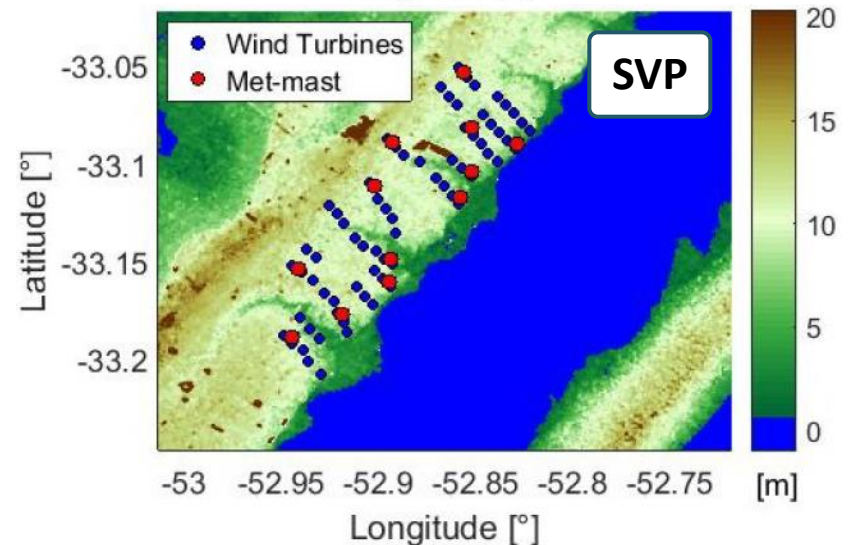
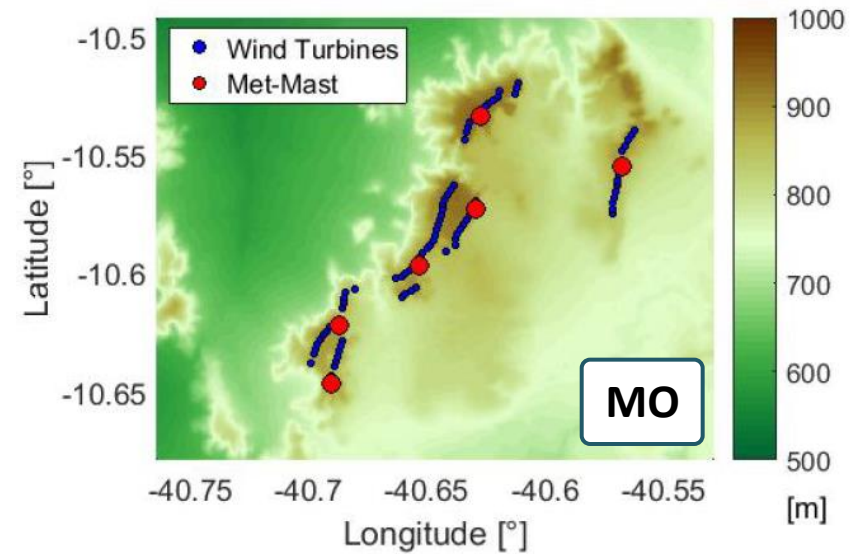
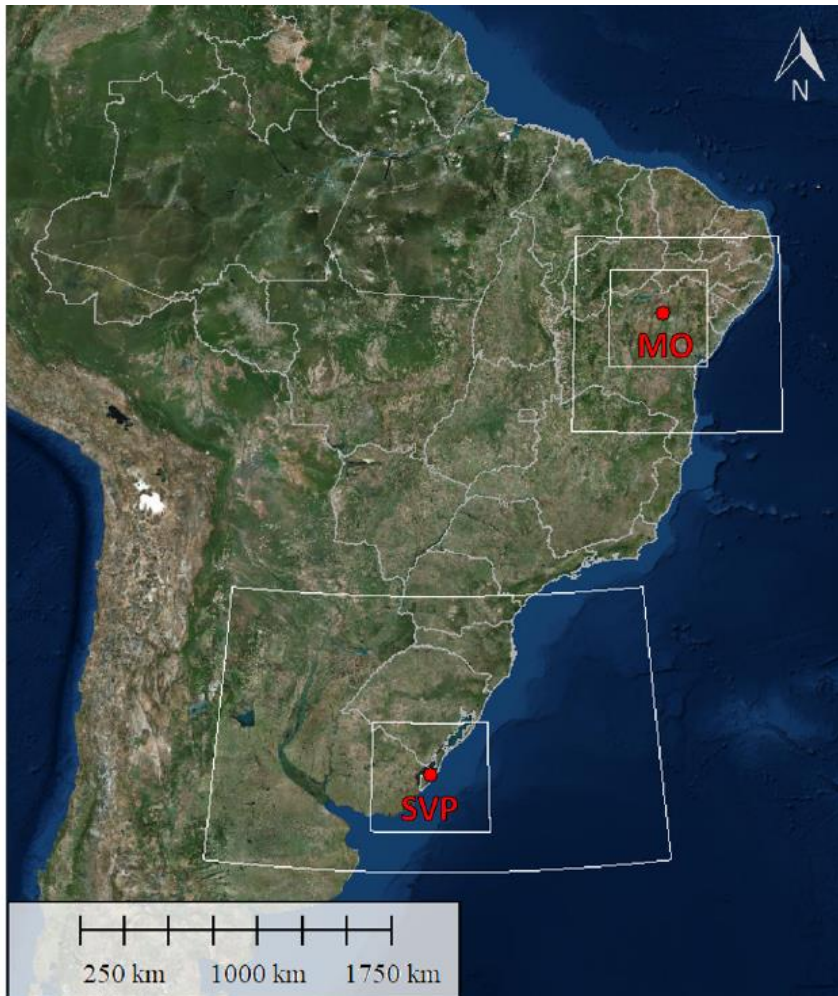
P&D ATLANTIC

COMPLEXO EÓLICO DE MORRINHOS (BA)

COMPLEXO EÓLICO DE SANTA VITÓRIA DO PALMAR (RS)

P&D Atlantic

Complexos Eólicos de MO e SVP

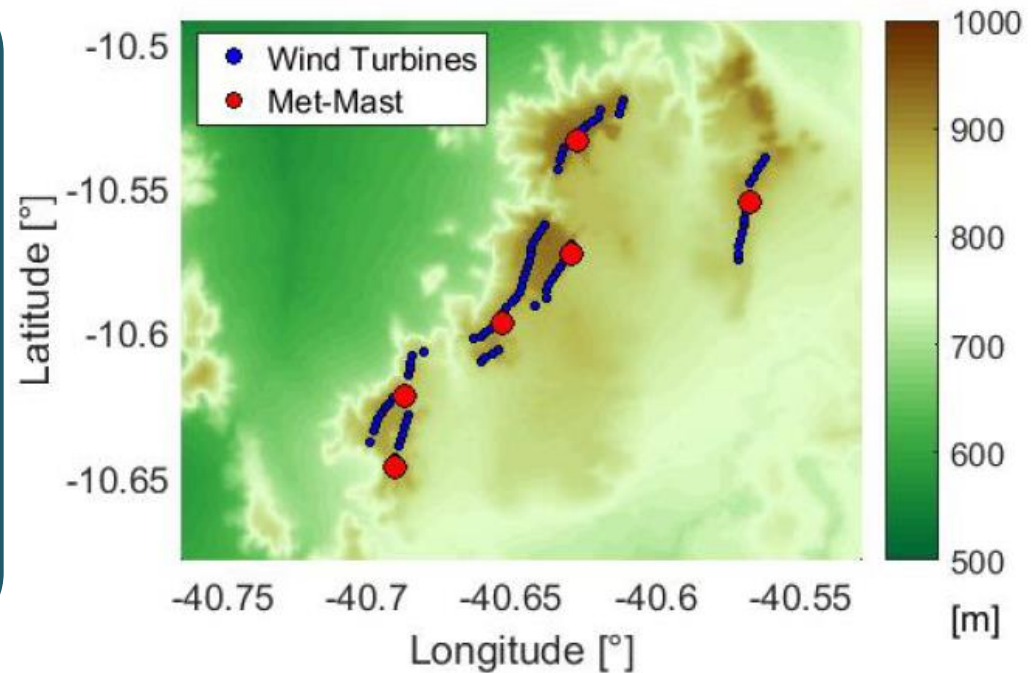


P&D Atlantic

Terreno Simples x Terreno Complexo

MO:

- Campo Formoso (BA)
- Terreno complexo
- Interior do Estado
- Altitude média: 850 m a.g.l.
- 6 torres anemométricas
- Vel.: 50 m, 76 m e 78 m
- Dados anemométricos desde: 2008
- Dados de geração: 2015

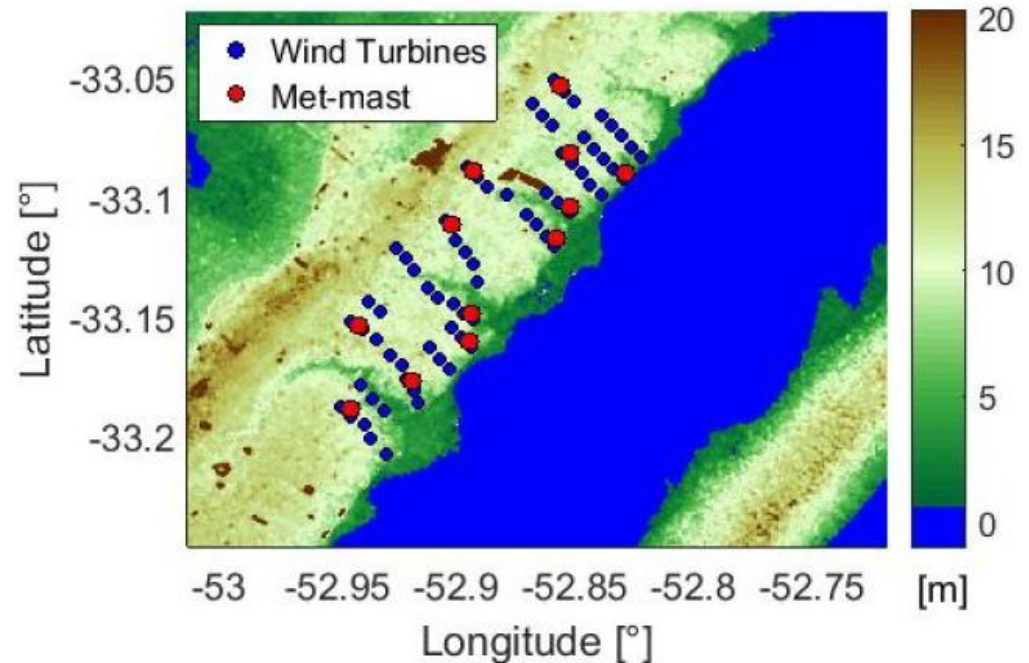


P&D Atlantic

Terreno Simples x Terreno Complexo

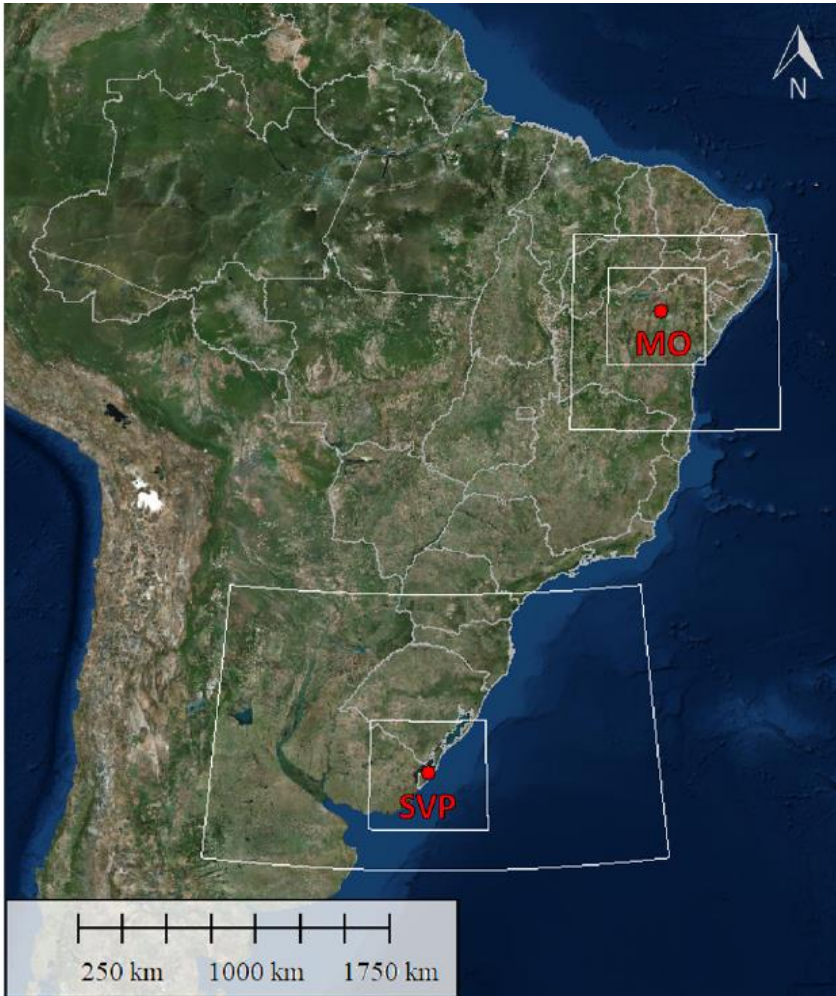
SVP:

- Santa Vitória do Palmar(RS)
- Terreno simples
- Próximo da costa (20 km)
- Altitude média: 10 m a.g.l.
- 12 torres anemométricas
- Vel.: 57,5 m, 118 m e 120 m
- Dados anemométricos desde: 2009
- Dados de geração: 2017



P&D Atlantic

Simulações do vento

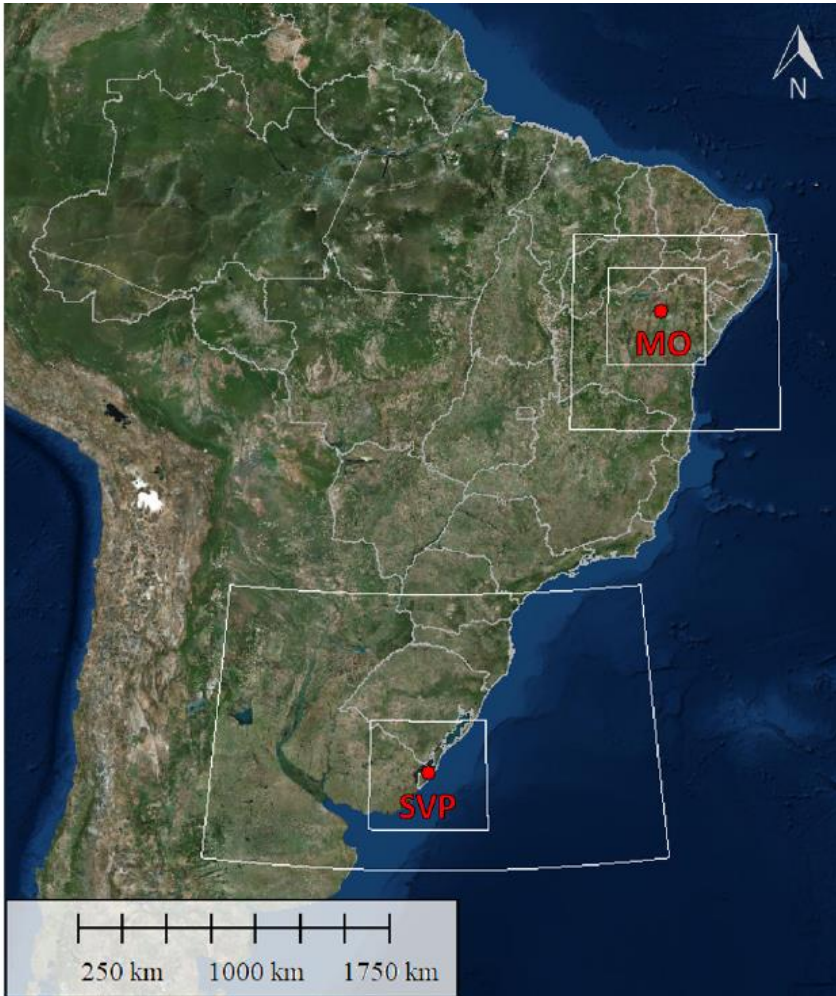


Configurações:

- WRF-ARW v. 3.9.1
- Período: Julho/2017
- 2 Domínios:
 - D1: 12 x 12 km
 - D2: 4 x 4 km
- 27 níveis verticais
- Input: GFS – ANL ($0,5^\circ \times 0,5^\circ$)
- Interpolação vert.: 50 m (MO) e 57,5 m (SVP)
- Interpolação hor.: posição das torres
- Horizonte previsão: 120 h

P&D Atlantic

Simulações do vento

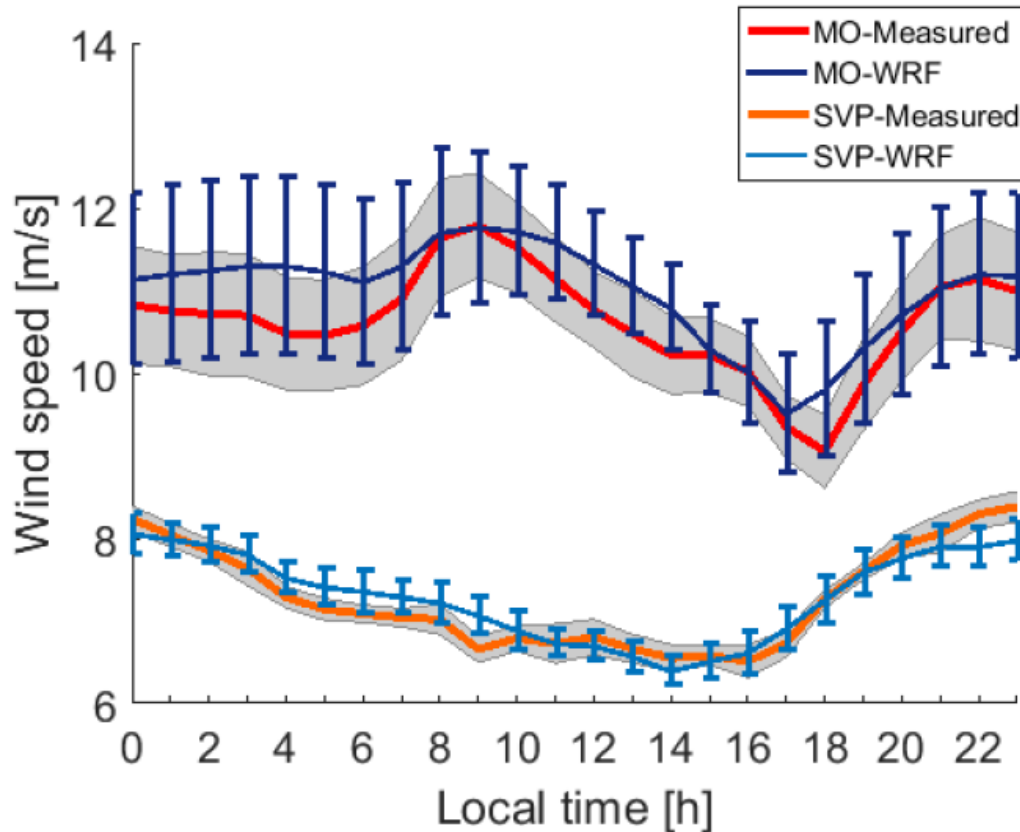


Parametrizações:

- Camada limite planetária: MYNN2
- Camada limite: MYNN
- Land surface: Noah
- Microfísica: WRF DM-5
- Radiação longa: RRTM
- Radiação curta: Dudhia
- Cumulus: KF

P&D Atlantic

Terreno Simples x Terreno Complexo



STD dados medidos

STD_MO = 0,60 m/s

STD_SVP = 0,16 m/s

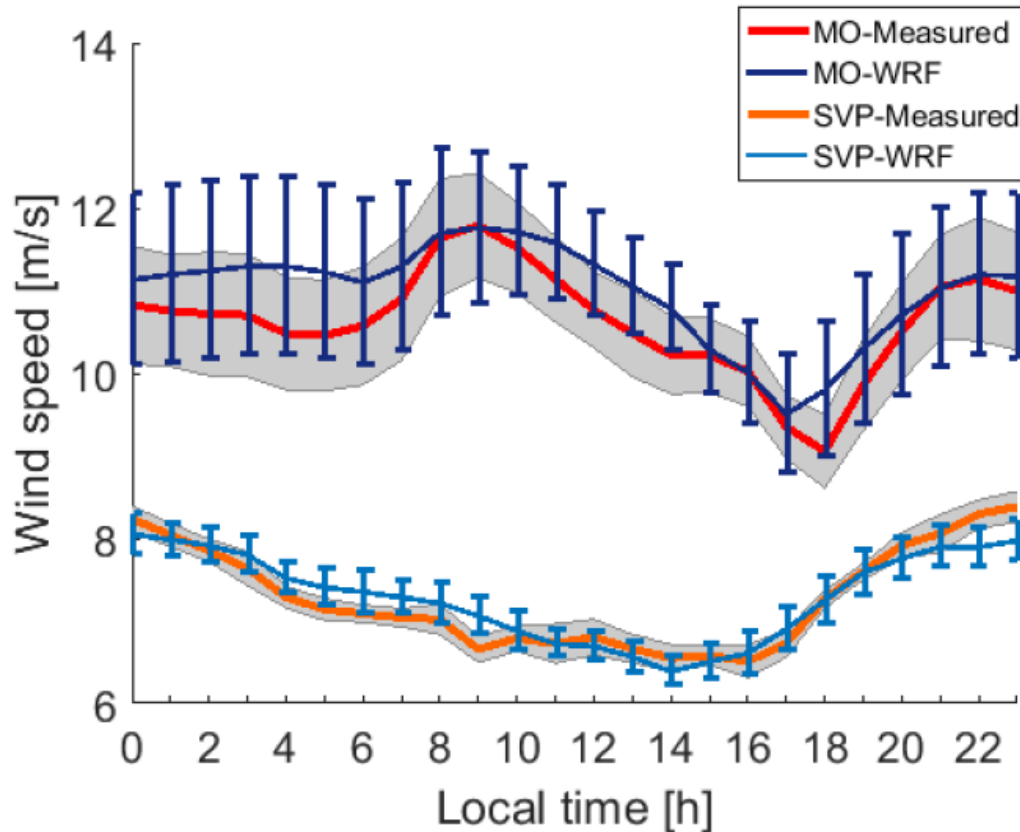
STD dados previstos

STD_MO = 0,88 m/s

STD_SVP = 0,22 m/s

P&D Atlantic

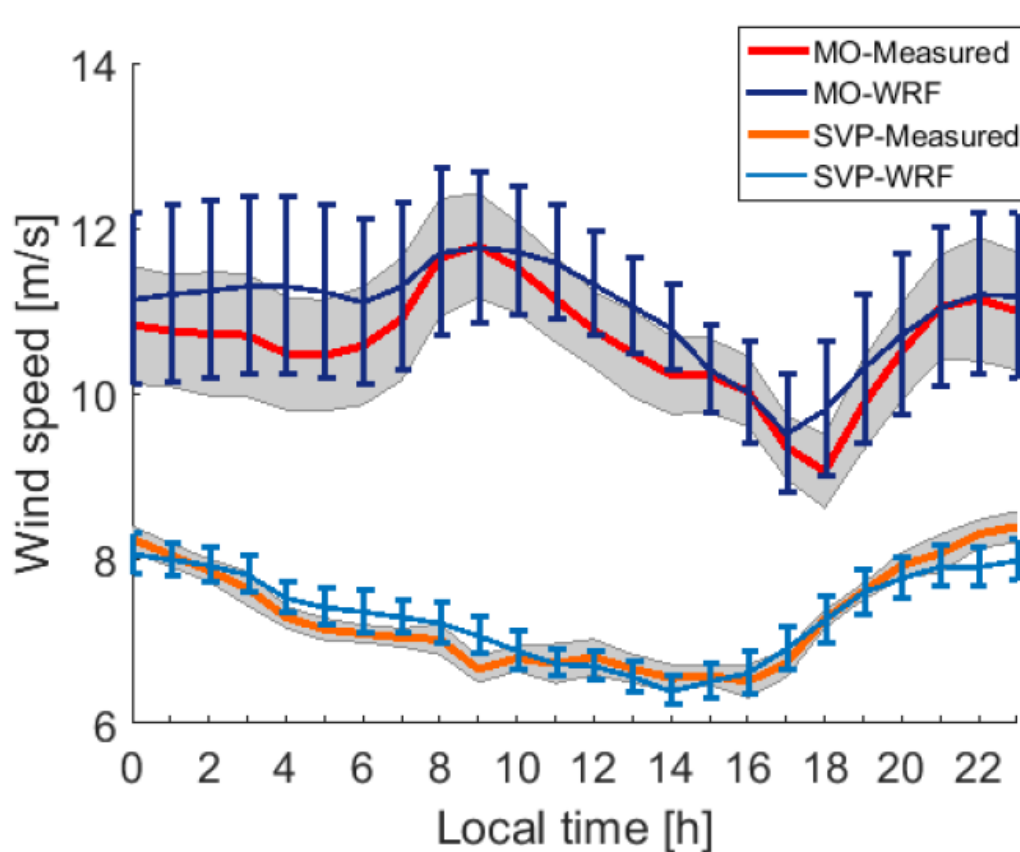
Terreno Simples x Terreno Complexo



	RMSE [m/s]	Bias [m/s]
MO-1	1.29	-0.48
MO-2	1.61	0.91
MO-3	1.26	0.19
MO-4	1.38	0.25
MO-5	1.49	0.38
MO-6	1.52	0.88
SVP-1	1.81	0.12
SVP-2	1.63	-0.32
SVP-3	1.70	-0.07
SVP-4	1.73	0.27
SVP-5	1.66	-0.12
SVP-6	1.77	0.15
SVP-7	1.71	-0.03
SVP-8	1.65	0.01
SVP-9	1.73	0.24
SVP-10	1.63	-0.04
SVP-11	1.62	0.21
SVP-12	1.74	0.17

P&D Atlantic

Terreno Simples x Terreno Complexo



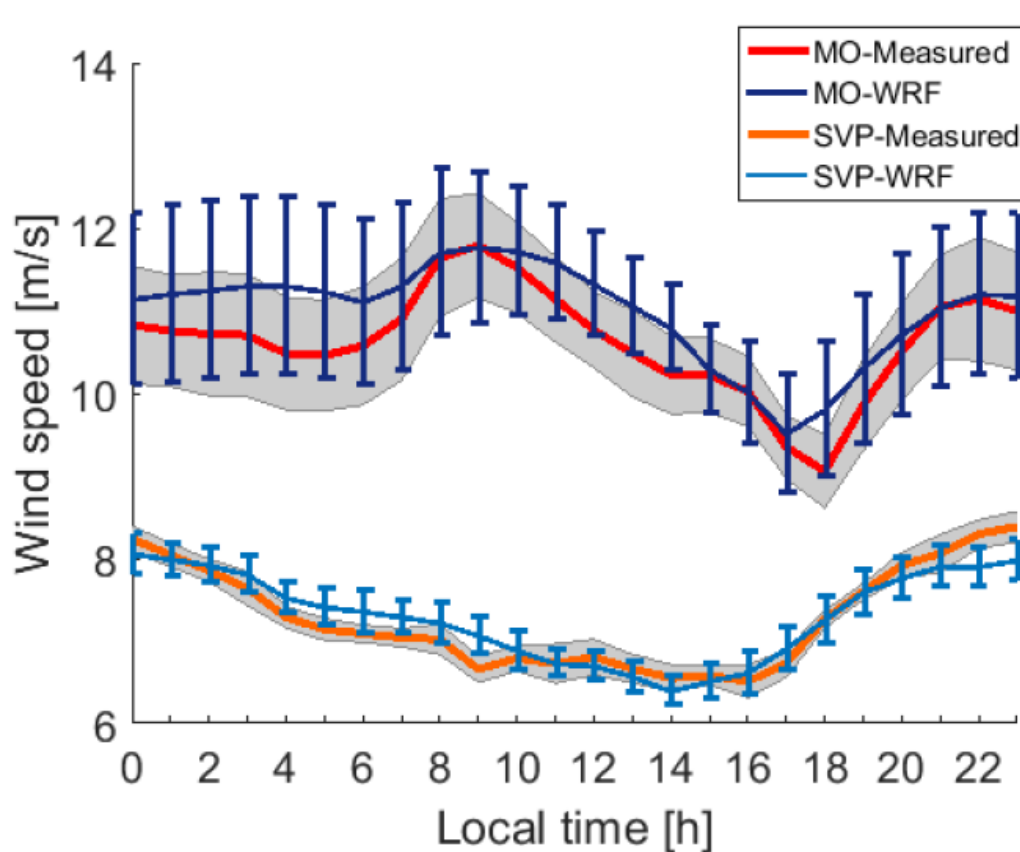
	RMSE [m/s]
MO-1	1.29
MO-2	1.61
MO-3	1.26
MO-4	1.38
MO-5	1.49
MO-6	1.52
SVP-1	1.81
SVP-2	1.63
SVP-3	1.70
SVP-4	1.73
SVP-5	1.66
SVP-6	1.77
SVP-7	1.71
SVP-8	1.65
SVP-9	1.73
SVP-10	1.63
SVP-11	1.62
SVP-12	1.74

RMSE médio
1,42 m/s

RMSE médio
1,70 m/s

P&D Atlantic

Terreno Simples x Terreno Complexo



	Bias [m/s]
MO-1	-0.48
MO-2	0.91
MO-3	0.19
MO-4	0.25
MO-5	0.38
MO-6	0.88
SVP-1	0.12
SVP-2	-0.32
SVP-3	-0.07
SVP-4	0.27
SVP-5	-0.12
SVP-6	0.15
SVP-7	-0.03
SVP-8	0.01
SVP-9	0.24
SVP-10	-0.04
SVP-11	0.21
SVP-12	0.17

Bias médio
0,52 m/s



Bias médio
0,14 m/s



Considerações Finais

- Terreno simples
- Próximo a costa
- Piauí

	RMSE [m/s]	Bias [m/s]	Alt. (m)
UEPS	1,72	-0,10	98
MO	1,42	0,52	50
SVP	1,70	0,14	57,5

- Terreno complexo
- Interior do Estado
- Bahia

- Terreno simples
- Próximo a costa
- RS



Obrigada!

Isadora Limas Coimbra

Eng. Mecânica

Pesquisadora em Energia

Eólica

isadoralimas@gmail.com