

ESTIMATIVA DA VELOCIDADE DO VENTO PARA ESTUDO EÓLICO *OFFSHORE* E *ONSHORE*

Alexandre Silva dos Santos¹, Aléxia Monteiro Valentim¹

1 Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis (ISI-ER)
Av. Capitão-Mor Gouveia, 2770 - Lagoa Nova, Natal – RN, Brasil

alexandretorres@isi-er.com.br, alexiavalentim@isi-er.com.br

RESUMO

O modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) para simulações da velocidade do vento é uma investigação que provém do interesse das condições meteorológicas que atuam sobre a região litorânea do Nordeste do Brasil (NEB). Neste estudo foi feito um comparativo entre os dados *onshore* e *offshore* por estações meteorológicas automáticas do INMET e boias meteoceanográficas do PNBOIA. O WRF foi uma ferramenta capaz de simular o comportamento do vento significativamente. No entanto, a simulação do WRF alimentada pelo dado ERA-5 foi melhor que as reanálises do ERA-5.

Palavras-chave: velocidade do vento, boia, estação meteorológica automática

ABSTRACT

The *Weather Research and Forecasting* (WRF) model in the simulation of wind speed is an investigation from the interest of meteorological conditions that act on the coastal region Northeastern Brazil. In this study, a comparison was between onshore and offshore data from buoys (PNBOIA) and automated weather stations (INMET). The WRF was a tool capable of significantly simulations of wind speed. However, compared with the reanalysis ERA-5 data itself, the improvements in the WRF simulation forced by ERA-5 were better.

Keyword: wind speed, buoy, station weather, automated weather station.

1. INTRODUÇÃO

O Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), implementado em 2004, foi o ponto de partida do setor eólico no Brasil. O governo disponibilizou 54 usinas eólicas com geração total de energia de 1,4 GW (Agência Nacional de Energia Elétrica. <http://www.anel.gov.br/proinfa>. Acesso 10 janeiro de 2022). No cenário brasileiro atual, a região nordeste é a que apresenta maior fator de capacidade e cada vez mais vem aumentando ao longo dos anos devido seu desenvolvimento tecnológico e os novos parques eólicos instalados. De acordo com Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), o Nordeste do Brasil (NEB) possui o maior potencial eólico *onshore* (20,732 GW) com 706 parques eólicos (ABEEólica. <http://www.abeeolica.org.br>. Acessado no dia 16 de junho de 2023). A maior parte dos parques eólicos estão localizados ao longo do litoral, mais ainda faltam estudos qualificados em áreas oceânicas (*offshore*), próximo da costa.

A condição meteorológica em área oceânica tem sido cada vez mais estudada através de projetos, como, por exemplo, o *Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic* (PIRATA) e pesquisas com o uso de dados de sensoriamento remoto (satélites) (TUCHTENHAGEN et al., 2020). Esses projetos são resultados que a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira pode gerar até 12 vezes à capacidade de energia eólica *offshore* em relação *onshore*. SILVA et al., 2016 apresentaram que a geração de energia na ZEE serve como complemento para a energia hidrelétrica durante período de seca no NEB.

O rápido avanço da energia eólica *offshore* em todo o mundo, desperta o interesse e, em simultâneo, dependência de pesquisas cada vez mais precisas dos recursos de vento através de suas ferramentas (SILVA DOS SANTOS et al., 2016). Os modelos numéricos meteorológicos podem ser uma dessas ferramentas, capaz de simular o comportamento do vento sobre o mar em larga escala. Os modelos numéricos meteorológicos vêm sendo cada vez mais utilizados para estudos de atlas eólicos (HAHMANN et al., 2020), desenvolvimento de *micrositing* (SILVA DOS SANTOS et al., 2016), previsão de curto a médio prazo (TYMVIOS et al., 2018), bem como recursos eólicos em cenários futuros de mudanças climáticas (CHEN, 2020).

Como exemplo de um modelo numérico meteorológico bastante utilizado, pode-se citar *Weather Research and Forecasting* (WRF). O novo Atlas *Offshore* Europeu foi produzido com uso do modelo WRF (HAHMANN et al., 2020). É um modelo não hidrostático de código aberto e flexível, permitindo que os usuários alterem as condições iniciais e de contorno, esquemas de parametrização física, bem como resolução e aninhamento de grades (SILVA DOS SANTOS et al., 2016; CARVALHO et al., 2014b; OLAOFE, 2019; LI et al., 2021).

Diante desse contexto, torna-se importante estudar o perfil de vento e não apenas o vento em superfície, bem como calcular as métricas dos erros das simulações do WRF e dos dados de reanálises utilizados em diferentes áreas (*onshore* e *offshore*). Sabendo disso, o objetivo desse estudo é estudar o perfil do

vento e calcular as métricas dos erros dos conjuntos de dados utilizados em diferentes pontos *offshore* e *onshore*, localizados próximos da costa do NEB.

2. MÉTODO DO ESTUDO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Figura 1 apresenta a área de estudo e as localizações dos pontos de medições utilizadas.



Figura 1 – Localização dos pontos de medições utilizadas para comparativo das simulações do WRF e ERA-5.

2.2 DADOS OBSERVADOS

Foram utilizados dados de vento medidos por boias fundeadas e estações meteorológicas. As séries temporais de dados de vento *in situ* medidos por 2 (duas) boias meteoceanográficas e três (3) estações meteorológicas automáticas próximas à costa do nordeste brasileiro (Figura 1) foram utilizadas para comparar com as simulações do WRF e as reanálises do ERA-5. Os dados das boias foram obtidos do Programa Nacional de Boias (PNBOIA) por meio do endereço da “internet” <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-goos-brasil/pnboia-mapa> e as estações meteorológicas automáticas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)(www.inmet.gov.br). A Tabela 1 apresenta detalhadamente as demais características e suas devidas localizações.

Tabela 1 – Nomes, localização e cobertura temporal dos dados das boias e estações meteorológicas.

Fonte	Tipo	Local	Latitude (°)	Longitude (°)	Altura (m)	Início	Término
PNBOIA	Boia	Recife	-7,29	-34,58	4,7	01/09/2013	22/09/2014
PNBOIA	Boia	Porto Seguro	-16,00	-37,94	4,7	01/09/2013	22/09/2014
INMET	Estação Meteorológica	Caravelas	-17,74	-39,26	10	01/09/2013	22/09/2014
INMET	Estação Meteorológica	Ilhéus	-14,66	-39,18	10	01/09/2013	22/09/2014
INMET	Estação Meteorológica	João Pessoa	-7,17	-34,82	10	01/09/2013	22/09/2014

2.3 DADOS DE REANÁLISES ERA-5

As reanálises ERA-5 foi desenvolvido pelo *Copernicus Climate Change Service* e implementado pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* (HERSBACH et al., 2020). Os dados de reanálises são produzidos pela combinação de previsões numéricas e dados observacionais da rede mundial meteorológica. No ERA-5 é adotado uma assimilação de dados em quatro dimensões da atmosfera e superfície por meio do *Integrated Forecast System* com 137 níveis verticais em coordenadas sigma e 31 km de resolução espacial horizontal.

Os dados são disponibilizados com frequência temporal horária para todas as variáveis meteorológicas, incluindo as componentes zonal e meridional do vento nas alturas de 10 e 100 m. Essas alturas também foram utilizadas na pesquisa. Os dados foram disponibilizados para o mesmo período das medições, com os propósitos de alimentar as simulações do modelo WRF e comparativo estatístico.

2.4 MODELO DE MESOESCALA WRF

O modelo de mesoescala utilizado foi o *Weather Research and Forecasting System (WRF)*, versão 4.2, desenvolvido pelo *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*. As simulações foram realizadas com três domínios horizontais aninhados, com espaçamento de 27 (domínio 1), 9 (domínio 2) e 3 km (domínio 3). A Figura 2 apresenta as áreas de domínios utilizadas para o cálculo do comportamento do vento. O topo do modelo foi fixado em 50 hPa, como recomendado pelos desenvolvedores do modelo WRF (SKAMAROCK et al., 2019). As simulações ocorreram no período de 01/09/2013 a 22/09/2014.



Figura 2 - Áreas de domínio da simulação realizada pelo modelo meteorológico WRF.

Na elaboração dos resultados desse estudo *offshore* e *onshore* foram extraídos os dados simulados do domínio 3 (3km) para comparar com os dados observados. A extensão dessa grade de maior resolução foi adotada para resolver as condições meteorológicas de mesoescala, bem como para permitir que o modelo desenvolva circulações regionais ocasionadas por efeitos dos processos físicos entre terra e mar.

O aumento na resolução espacial do modelo foi adotado como um método de melhoria dos processos de escoamento atmosférico em mesoescala envolvidos entre a “interface” terra-mar.

O modelo WRF possui um grande número de parametrizações físicas, como camada limite planetária (CLP), esquema superficial (CP), modelo de solo (MS), microfísica de nuvens, cúmulos e radiação. Indiscutivelmente, uma configuração ideal com melhor desempenho em todos os momentos de tempo e escalas espaciais não pode ser esperada. Logo, o foco neste estudo foi fazer uma simulação com a configuração que tende a ter um desempenho melhor na maioria das instâncias dentro do conjunto de experimentos de sensibilidade das condições iniciais e de contorno, camada limite planetária e modelo de solo em pesquisas realizadas. A Tabela 2 ilustra a configuração que melhor se apresentou como resultados. Os outros parâmetros utilizados nas simulações também são apresentados nessa Tabela 2.

Tabela 2 - Configurações e parametrizações físicas utilizadas na simulação do modelo WRF

Parâmetro	Valor/Descrição
Modelo de mesoescala	WRF
Resolução horizontal do modelo de mesoescala	27,9 e 3 km
Base de dados de vento	ERA-5 no período de 09/2013 a 09/2014
Base de dados de topografia	SRTM de resolução espacial 30 m
Base de dados de rugosidade	MODIS de resolução espacial 925 m
Número de níveis verticais da atmosfera	61
Radiação de comprimento de onda longa	<i>Rapid Radiative Transfer Model (RRTMG)</i>
Radiação de comprimento de onda curta	<i>Rapid Radiative Transfer Model (RRTMG)</i>
Microfísica	<i>WRF Single-Moment 6-class</i>
Cumulus	Kain-Fritsh
Camada de superfície	MYJ

2.5 EXTRAPOLAÇÃO VERTICAL DO VENTO

Estudos na área eólica, o interesse atual é em ventos na altura do *hub* do aerogerador, que geralmente varia entre 80 a 150 m. Para extrapolação vertical dos dados observados foram utilizados a Lei Logarítmica, com base na velocidade do vento na altura de referência e rugosidade do terreno (SILVA et al., 2016).

$$U = U_{ref} \frac{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_{ref}}{z_0}\right)}$$

Onde:

h_{ref} altura de referência (m);

h altura que se deseja interpolar (m);

U velocidade do vento na altura do *hub* do aerogerador (m/s);

U_{ref} velocidade do vento na altura de referência (m/s);

z_0 comprimento da rugosidade (m).

Nesta pesquisa assumiu uma atmosfera neutra com rugosidade $z_0 = 0.0002 \text{ m}$, um valor apropriado para as condições do mar ameno (MACHRAFI, 2012), para terra foi adotado uma rugosidade de $z_0 = 0.03 \text{ m}$. Para estimativa da velocidade do vento em alturas atraentes para eólica, a extrapolação vertical foi realizada para as alturas de 10 m, 100 m e 150 m para as boias com altura referência 4,7 m e 150 m para as reanálises ERA-5, já que para outras alturas não foi necessário.

2.6 MÉTRICAS DOS ERROS

As séries temporais de dados de ventos medidos *in situ* nas boias e estações meteorológicas foram consideradas como valor de referência nas comparações estatísticas com as demais bases (WRF e ERA-5). As comparações foram feitas considerando-se os mesmos pontos das coordenadas geográficas das boias e estações meteorológicas e os respectivos pontos de grade pelo método de interpolação bilinear. Em todos os casos, as comparações foram baseadas nas seguintes métricas estatísticas: raiz do erro médio quadrático (RMSE, do inglês *Root mean Square error*) e viés ou BIAS, de acordo com as seguintes equações:

Raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (p_t - o_t)^2}$$

Viés (BIAS):

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n p_t - o_t$$

Onde p_t e o_t se referem aos valores de velocidade do vento previstos/reanálises e observados no instante de tempo t .

Na comparação de dados simultâneos foram gerados Diagramas de Taylor (TAYLOR, 2001) para melhor visualização dos resultados.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos dois conjuntos (WRF e ERA-5) de dados analisados de forma simultânea, para os cinco pontos avaliados, não divergiram muito com relação às velocidades. Para o conjunto completo de dados, os valores de RMSE, variaram entre 0,34 m/s (João pessoa a 10 m de altura para WRF) e 3,98 m/s (João Pessoa a 150 m para ERA 5), considerando todos os pontos de medições nas três alturas (Tabela 3). Comparando todas as medições, os valores de RMSE são menores para os dados WRF (0,34 m/s para João Pessoa e 0,698 m/s para Caravelas) quando se compara com os dados do ERA-5, exceto o ponto de Porto Seguro com os maiores erros (Tabela 3).

O BIAS, para o modelo WRF, variou entre -0,006 e 1,69 m/s nas análises das três alturas (10, 100 e 150 m)(Tabela 3). Os menores valores do BIAS foram para os dados do WRF para as alturas de 10 e 100 m, em destaque os pontos de medições Caravelas e Porto Seguro (Tabela 3). A Tabela 3 apresenta os maiores valores do BIAS para os dados ERA-5, principalmente na altura de 150 m (Porto Seguro e Ilhéus). De modo geral, foram observadas as maiores diferenças do BIAS nos pontos de medições Recife e Porto Seguro entre os dados WRF e ERA-5, em destaque a altura de 150 m. Os dados do WRF e ERA-5 para

os pontos de medições Recife e Porto Seguro subestimaram os resultados com valores negativos, os demais superestimaram com valores positivos. De modo geral, os dados do ERA-5 apresentaram os maiores erros para as métricas RMSE e BIAS, principalmente na altura de 150 m.

Tabela 3 – Métricas dos erros para os pontos de medições utilizadas.

Medição	Altura (m)	RMSE_WRF (m/s)	RMSE_ERA-5 (m/s)	BIAS_WRF (m/s)	BIAS_ERA-5 (m/s)
Recife	10	1,07915322	1,17016333	-0,1623591	-0,2871143
	100	1,60899641	1,71173731	-0,6579372	-0,6741942
	150	1,62208288	1,79954493	-0,6603881	-0,7285262
Porto Seguro	10	2,034469	2,108812	-1,32507	-1,47711
	100	2,61371	2,769277	-1,78349	-2,23566
	150	3,164579	3,26813	-2,42396	-2,76203
Caravelas	10	0,69831093	0,87471755	0,16420868	0,25739044
	100	0,20353292	0,39839769	0,35537738	0,35537738
	150	1,14056982	1,2487849	0,42397166	0,36875585
João Pessoa	10	0,33971279	2,74215284	0,00600417	0,060887162
	100	0,45103287	3,94118192	0,22278159	0,76417877
	150	0,44542334	3,97805319	0,1581896	0,79040399
Ilhéus	10	1,19242265	1,13863597	-0,3868391	0,38043383
	100	1,55149561	2,13210419	-0,4838649	1,31608127
	150	2,5932059	3,95783992	1,69050082	2,97227897

Os diagramas de Taylor nas Figuras 3,4 e 5 apresentaram à acurácia das simulações do WRF e das reanálises ERA-5 nas três alturas 10, 100 e 150 m. A partir de uma análise visual do diagrama para altura de 10 m, pode-se determinar que ambos os dados WRF e ERA-5 apresentaram pouca diferença para a coeficiente de correlação (R), sendo adequadas para representar as características da velocidade do vento para os pontos de medições. Nota-se que as simulações do WRF apresentaram maiores correlações ($R > 0,7$) para os pontos de Recife, João Pessoa, Caravelas, Ilhéus, sendo o ponto de João Pessoa com a maior correlação (0,95). Os desvios padrões apresentaram que o WRF conseguem acompanhar com exatidão a variabilidade dos dados observados.

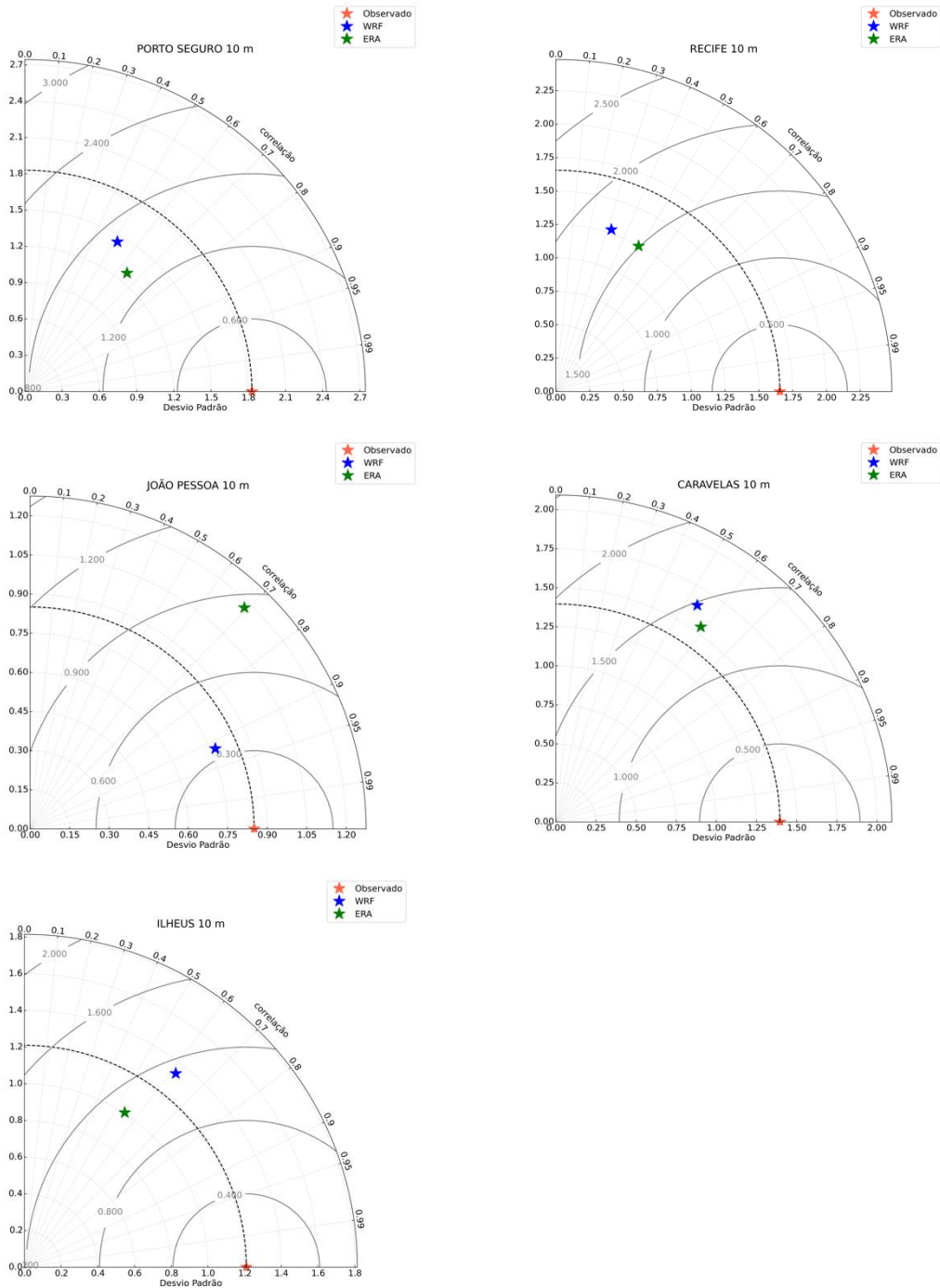


Figura 3 – Diagrama de Taylor para os resultados do WRF, ERA-5 e observados a 10 m de altura.

Os resultados dos diagramas de Taylor para altura de 100 m apresentaram correlações acima de 0,7 em três estações de medições (Porto Seguro, Recife e João Pessoa), exceto para os pontos de medições Caravelas e Ilhéus, com correlações 0,5 e 0,6, respectivamente (Figura 4). De acordo com ULAZIA et al., 2017, esses resultados demonstraram que a velocidade do vento sofre variações devido à capacidade do modelo meteorológico em simular a morfologia do terreno em torno da estação analisada, com peso nesta particularidade do que a resolução de grade utilizada no modelo. Para ERA-5, os valores ficaram

abaixo das simulações, com exceção de Porto Seguro que apresentou uma correlação de 0,7. O menor valor da correlação foi para o ponto de medição ilhéus, 0,4 (Figura 4).

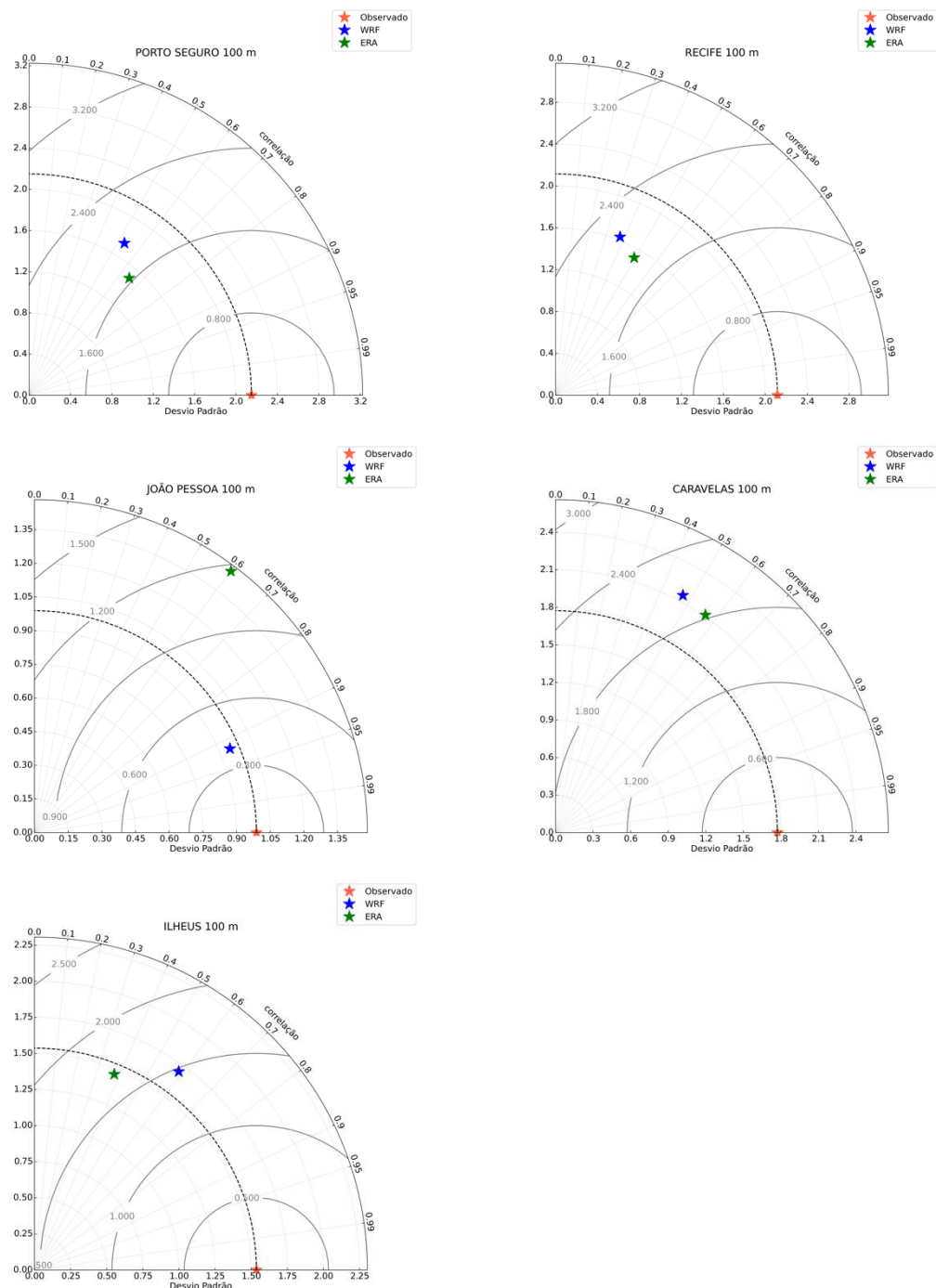


Figura 4 – Diagrama de Taylor para os resultados do WRF,ERA-5 e observados a 100 m de altura.

Por último os diagramas de Taylor para altura de 150m. Os resultados apresentam um coeficiente de correlação para o ponto de João Pessoa de 0,90 e para Ilhéus um valor de 0,3. Em Caravelas ocorreu o maior desvio padrão. Para o ERA-5, apresentou o melhor coeficiente 0,65 no ponto de medição Ponto

Seguro e valor de 0,1 para ponto de Ilhéus. O maior desvio padrão foi observado no ponto de medição de Caravelas.

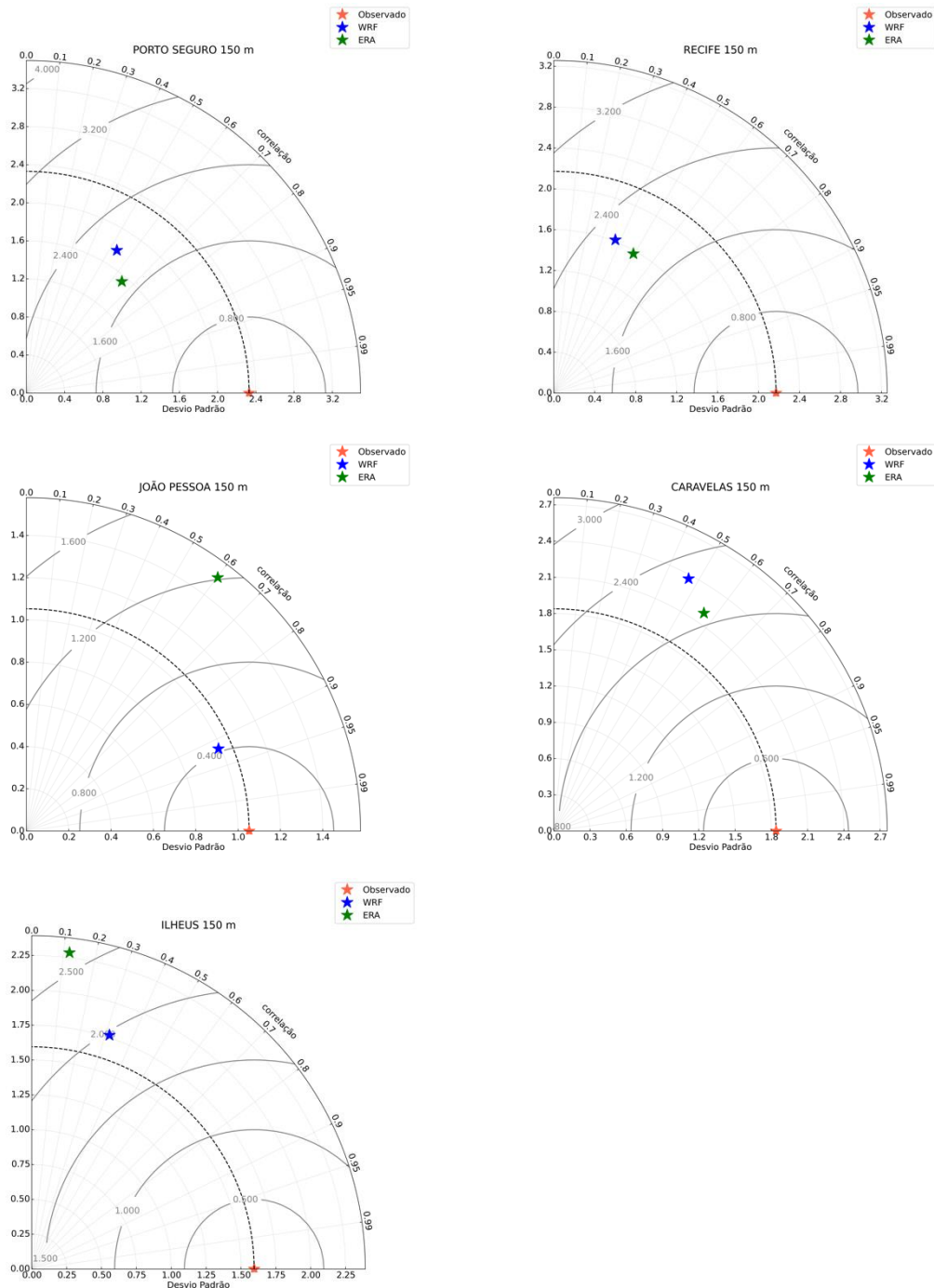


Figura 5 – Diagrama de Taylor para os resultados do WRF,ERA-5 e observados a 150 m de altura.

CARVALHO et al., 2014b, compararam dados de velocidade do vento de reanálises e modelo numérico meteorológico com dados *in situ* medidos por boias fundeadas entre 20 e 55 km de distância da costa, ao longo da Península Ibérica, durante o ano de 2013. Os autores encontraram valores de RMSE e BIAS similares à pesquisa para as velocidades simuladas pelo modelo WRF, variando entre 1,26 a 1,79 m/s e 0,42 a 0,89 m/s, respectivamente. Para reanálises ERA-INTERIM, os resultados encontrados dos valores

de RMSE e BIAS foram maiores em relação ao estudo, variando entre 2,57 a 3,92 m/s e 0,89 a 1,45 m/s, respectivamente. Isso demonstra uma melhoria dos dados do ERA-5 em relação ao ERA-INTERIM. CARVALHO et al., 2012, compararam os dados de velocidade do vento observado de boias fundeadas na Península Ibérica com os dados de velocidade do vento simulado pelo modelo WRF e reanálises NCEP-CFSR e NASA-MERRA. O modelo WRF apresentou melhor desempenho com valores de RMSE, BIAS e r iguais a 1,77 m/s, 0,34 m/s e 0,84 para a velocidade do vento, respectivamente.

ULAZIA; SAENZ; IBARRA-BERASTEGUI, 2017, compararam os dados de velocidade do vento de boias a 10 m de altura com modelo WRF para a região da costa norte ibérica (Golfo da Biscaia) para o período 1990 - 2001. Os autores encontraram valores de coeficiente de correlações similares ao do estudo, variando de 0,65 a 0,85 (r). Os valores de RMSE obtidos no presente estudo pela simulação WRF nas comparações dos dados de velocidade do vento também foram próximos ou menores do que os citados na literatura. Os valores de r (0,38 e 0,95) aqui encontrados, também, foram um pouco menores do que os citados por CARVALHO et al., 2014b, CARVALHO et al., 2012 e ULAZIA; SAENZ; IBARRA-BERASTEGUI, 2016. TUCHTENHAGEN et al., 2020 estudaram a geração de energia eólica *offshore* na região Sul do Brasil com uma simulação de 5 anos (2006 - 2010) e compararam suas velocidades com os dados de satélite (*Blended Sea Winds*). Como conclusão do estudo, o modelo WRF teve bom desempenho para simulação do vento, assim como foi encontrado neste estudo, com valores dos erros similares.

SALVAÇÃO; GUEDES SOARES, 2018, observaram que o modelo WRF com suas velocidades do vento comparados com as medidas das boias localizadas na costa da Península Ibérica, valores de RMSE e BIAS variando de 1,66 a 1,84 m/s e -0,38 a -0,60 (subestimando), respectivamente. Neste estudo também foram encontrados BIAS com valores negativos para os pontos de Recife e Porto Seguro com BIAS do modelo WRF próximos desses valores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos mostraram que os dados simulados para as regiões costeiras do NEB são os que conseguem melhor representar o campo de vento, com menor RMSE, viés e maior correlação em relação às reanálises ERA-5. Os dados de reanálises ERA-5 também apresentaram uma boa comparação estatística com as medidas de vento *in situ* (RMSE, BIAS e r), levando em conta sua baixa resolução espacial horizontal (31 km). Estudos futuros mais refinados devem ser feitos, delimitando áreas viáveis para a instalação dos parques eólicos *offshore*. Outro aspecto para melhorar o estudo é aumentar a cobertura dos dados observados em áreas *offshore*, com mais boias, satélites e lidar. É importante também considerar a estabilidade atmosférica (função de estabilidade da equação do comprimento Monin-Obukhov) ao invés de adotar uma condição neutra da atmosfera na extrapolação vertical da velocidade do vento, para melhorar a estimativa. A simulação da velocidade do vento com uso do modelo numérico de previsão constitui um método bem viável para evitar a extrapolação vertical em altitude do vento próximo da superfície. Estudos apresentados aqui apresentaram boas comparações estatísticas entre simulações do modelo WRF e os dados medidos por boias fundeadas e estações meteorológicas.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, D. et al. A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. **Environmental Modelling and Software**, v. 33, p. 23–34, 2012.
- CARVALHO, D. et al. Sensitivity of the WRF model wind simulation and wind energy production estimates to planetary boundary layer parameterizations for onshore and offshore areas in the Iberian Peninsula. **Applied Energy**, v. 135, p. 234–246, 2014a.
- CARVALHO, D. et al. Comparison of reanalyzed, analyzed, satellite-retrieved and NWP modelled winds with buoy data along the Iberian Peninsula coast. **Remote Sensing of Environment**, v. 152, p. 480–492, 2014b.
- CHEN, L. Impacts of climate change on wind resources over North America based on NA-CORDEX. **Renewable Energy**, v. 153, p. 1428–1438, 2020.
- HAHMANN, A. N. et al. The making of the New European Wind Atlas - Part 1: Model sensitivity. **Geoscientific Model Development**, v. 13, n. 10, p. 5053–5078, 2020.
- HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, n. June, p. 1999–2049, 2020.
- LI, H. et al. A sensitivity study of the WRF model in offshore wind modeling over the Baltic Sea. **Geoscience Frontiers**, v. 12, n. 6, p. 101229, 2021.
- MACHRAFI, H. **Green Energy and Technology**. 2012.
- OLAOFE, Z. O. Quantification of the near-surface wind conditions of the African coast: A comparative approach (satellite, NCEP CFSR and WRF-based). **Energy**, v. 189, p. 116232, 2019.
- SALVAÇÃO, N.; GUEDES SOARES, C. Wind resource assessment offshore the Atlantic Iberian coast with the WRF model. **Energy**, v. 145, p. 276–287, 2018.
- SILVA, A. R. et al. Complementarity of Brazils hydro and offshore wind power. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 413–427, 2016.
- SILVA DOS SANTOS, A. T. et al. Assessment of wind resources in two parts of Northeast Brazil with the use of numerical models. **Meteorological Applications**, v. 23, n. 4, p. 563–573, 2016.
- SKAMAROCK, W. C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. **NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR**, p. 145, 2019.
- TAYLOR, K. E. in a Single Diagram. v. 106, p. 7183–7192, 2001.
- TYMVIOS, F. et al. Intercomparison of boundary layer parameterizations for summer conditions in the eastern Mediterranean island of Cyprus using the WRF - ARW model. **Atmospheric Research**, v. 208, n. September, p. 45–59, 2018.
- TUCHTENHAGEN, P. et al. WRF model assessment for wind intensity and power density simulation in the southern coast of Brazil. **Energy**, v. 190, 2020.
- ULAZIA, A.; SAENZ, J.; IBARRA-BERASTEGUI, G. Sensitivity to the use of 3DVAR data assimilation in a mesoscale model for estimating offshore wind energy potential. A case study of the Iberian northern coastline. **Applied Energy**, v. 180, p. 617–627, 2017.
- WITHA, B. et al. Report on WRF model sensitivity studies and specifications for the mesoscale wind atlas production runs. **New Eur. Wind Atlas Deliv**, n. May, 2019.