Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO NA REGIÃO DE PETROLINA-PE UTILIZANDO DADOS DE REANÁLISES DO ERA5-*LAND* DURANTE A INFLUÊNCIA RELATIVA DOS OCEANOS PACÍFICO TROPICAL E ATLÂNTICO TROPICAL SUL

Evaluation of wind potential in the Petrolina-PE region using ERA5-Land reanalysis data during the relative influence of the Tropical Pacific and Tropical South Atlantic oceans

Evaluación del potencial eólico em la región de Petrolina-PE utilizando datos del reanálisis ERA5-Land durante la influencia relativa del Pacífico Tropical y los oceanos Tropicales del Atlântico Sur

Gemeson Alves da Silva
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
gemeson_alves@hotmail.com

Magaly de Fátima Correia
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
magaly_correia@yahoo.com.br

Maria Regina da Silva Aragão
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
silva_aragao@yahoo.com.br

Enilson Palmeira Cavalcanti
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

enilson.cavalcanti@ufcg.edu.br

Wylliam Eduardo Alves Silva
Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada/Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
wylliameduardo99@hotmail.com

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar o grau de regularidade e persistência do vento, e determinar a densidade de potência eólica na região de Petrolina-PE em episódios do ENOS, com e sem a influência de anomalias de TSM no Atlântico Tropical Sul. As análises foram feitas a partir de dados de reanálise horários do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, no período de 1980 a 2000. Os perfis do vento para as alturas de 100m e 150m e os respectivos parâmetros da distribuição de Weibull foram obtidos com o objetivo de determinar a densidade de potência eólica média. Os resultados indicam que em episódios de El Niño a ausência de anomalias positivas de TSM no Atlântico Tropical Sul pode contribuir para o aumento na intensidade do vento e produção de energia eólica, enquanto que em episódios de La Niña é a presença de anomalias negativas de TSM no Atlântico Tropical Sul que pode dar essa contribuição.
Palavras-chave: Vento. Anomalias de TSM. Densidade de Potência Eólica. Petrolina – PE.

Abstract: The objective in this work was to evaluate the wind steadiness and persistence, and to determine the wind power density in the Petrolina-PE region in ENSO episodes, with and without the influence of SST anomalies in the Tropical South Atlantic. The analyses were based on hourly reanalysis data of the European Centre for MediumRange Weather Forecasts, in the period from 1980 to 2000. The wind profiles for the 100m and 150m heights and the corresponding parameters of the Weibull distribution were obtained aiming to determine the mean wind power density. The results indicate that in El Niño episodes the absence of positive SST anomalies in the Tropical South Atlantic may contribute for the increase in wind intensity and eolic energy production, while in La Niña episodes it is the presence of negative SST anomalies in the Tropical South Atlantic that may give this contribution.
Keywords: Wind. TSM Anomalies. Wind Power Density. Petrolina-PE.

Resumen: El objetivo de este trabajo fue evaluar la estabilidad y persistencia del viento, y determinar la densidad de potencia eólica en la región Petrolina-PE en episodios ENOS, con y sin influencia de anomalías de la TSM en el Atlántico Sur Tropical. Los análisis se basaron en datos de reanálisis por hora del Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos de Mediano Plazo, en el período de 1980 a 2000. Se obtuvieron los perfiles de viento para las alturas de 100 y 150 m y los parámetros correspondientes de la distribución de Weibull con el objetivo de determinar la media densidad de potencia eólica. Los resultados indican que en los episodios de El Niño la ausencia de anomalías positivas de la TSM en el Atlántico Sur Tropical puede contribuir al aumento de la intensidad del viento y la producción de energía eólica, mientras que en los episodios de La Niña es la presencia de anomalías negativas de la TSM en el Atlántico Sur Tropical. que pueda dar esta contribución.
Palabras clave: Eólica. Anomalías de TSM. Densidad Eólica. Petrolina-PE.

Submetido em: 08/06/2022
Aceito para publicação em: 26/11/2022
Publicado em: 28/11/2022

1. INTRODUÇÃO

O Ministério de Minas e Energia do Brasil, com o apoio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), através do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) relatam que haverá a necessidade de investimentos no setor de energia da ordem de R$ 3,2 trilhões até 2031. A principal pauta relacionada à geração de energia em todo o mundo diz respeito à redução da emissão de gases do efeito estufa, pois uma grande parcela da energia gerada mundialmente vem da queima de combustíveis fósseis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022). Por esse motivo, o conceito de geração de energia através de fontes renováveis é muito importante.

No Brasil, a fonte de energia renovável que ganhou mais destaque foi a energia eólica, principalmente pelo fato de que a matéria prima (vento), no país, é abundante e também por ser um recurso com baixíssimo impacto no ambiente.

O Nordeste brasileiro (NEB) é a região no Brasil que apresenta o maior potencial para aproveitamento do vento, levando a debates sobre a interface entre a instalação dos parques e o desenvolvimento da região. Além disso, o NEB está sob a influência dos oceanos Pacifico Tropical e Atlântico Tropical, oceanos esses cenários de alguns fenômenos meteorológicos (SANTANA *et al*., 2020), que influenciam diretamente no regime de vento na região. O El Niño-Oscilação Sul (ENOS), no Pacifico Tropical, e o Dipolo do Atlântico, no Atlântico Tropical, são exemplos de fenômenos que ocorrem nesses oceanos.

Durante o período de atuação do El Niño há um aumento da intensidade dos ventos, favorecendo a geração de energia eólica atrelado a períodos secos, por outro lado, o oposto é observado em anos de La Niña (CAVALCANTI *et al.,* 2019), embora, algumas vezes esse padrão não se repete. Uma comprovação dessa afirmativa pode ser vista quando se analisa a ocorrência dos eventos de El Niño nos anos de 2002 a 2007 e no biênio 2009-2010. A ocorrência desses eventos não resultou em períodos secos, como geralmente ocorre (NÓBREGA e SANTIAGO, 2014).

O acoplamento do ENOS no Pacifico Tropical com o gradiente meridional de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical gera variações no padrão de velocidade do vento do NEB, e as anomalias da TSM no Atlântico Tropical Norte (ATN) e Atlântico Tropical Sul (ATS) podem contribuir para o enfraquecimento ou fortalecimento do vento (REBOITA e SANTOS, 2014). Nesse sentido, pode haver um aumento ou diminuição da

geração de energia eólica no NEB, e a causa dessas variações devem ser cuidadosamente estudadas.

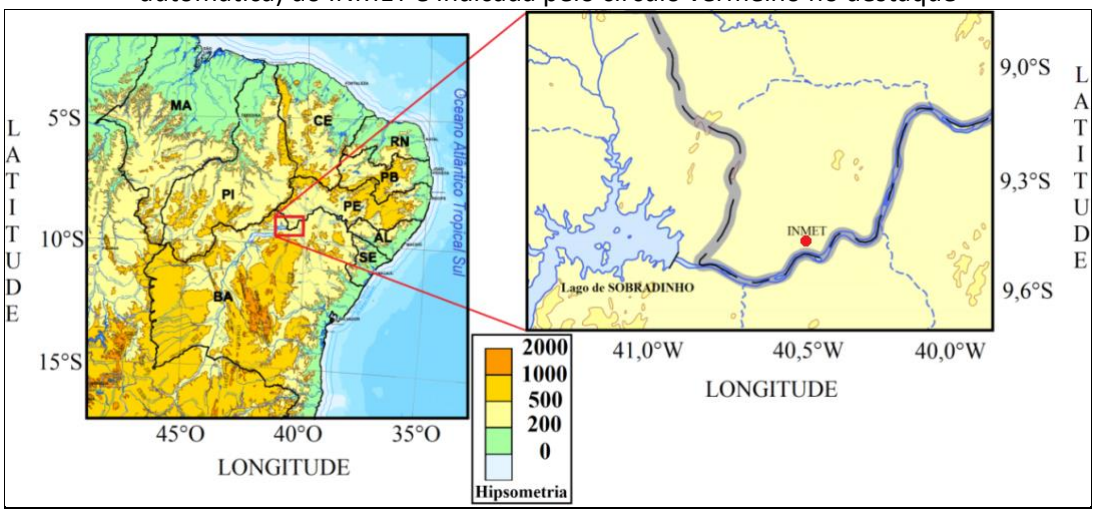
Nas últimas décadas, alguns estudos têm atribuído a variabilidade climática do NEB a relação do ENOS com a presença de anomalias de TSM no ATS. O quanto essa relação do ENOS com o ATS significa na geração de energia eólica do NEB, ainda é uma informação desconhecida. Sendo assim, é de fundamental importância o desenvolvimento de estudos que possibilitem uma melhor compreensão das variabilidades associadas a relação dinâmica desses dois oceanos (Pacífico Tropical e Atlântico Tropical Sul).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial eólico do NEB, mais especificamente no município de Petrolina-PE entre o período de 1980 a 2000 no trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF). Para alcançar esse objetivo, foram usados dados de reanálises da velocidade do vento do ERA5-*Land*, e também foi analisado o grau de confiabilidade dos dados de reanálises comparando-os com os dados observados em estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na região de Petrolina.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na **Figura 1** é possível observar a localização geográfica da região de Petrolina, bem como a das estações meteorológicas do INMET.

Figura 1. Mapa da divisão política do Nordeste do Brasil com destaque para a representação do relevo na região de Petrolina – PE. A posição geográfica das estações meteorológicas (convencional e automática) do INMET é indicada pelo círculo vermelho no destaque



Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

A região de Petrolina, foi escolhida por ser relativamente próxima de parques eólicos em atividade, além de representar uma região com alto potencial de produção de energia eólica (SANTOS *et al*., 2019).

No desenvolvimento deste estudo, enfoque principal foi dado as análises do período de 1980 a 2000, especificamente no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro por se tratar do período da fase mais intensa do EL Niño e da La Niña (ANDREOLY e KAYANO, 2006).

2.1. Dados

A densidade de potência eólica foi investigada usando dados horários de vento. Para este propósito foram utilizados dados de vento provenientes de reanálise do ERA5-*Land*, e dados de vento observados nas estações meteorológicas automática e convencional do INMET, situadas na região de Petrolina-PE, à 10,57 metros uma da outra e localizadas nas latitudes de -9.388424 e -9.388514, e longitudes de -40.523367 e -40.523393, respectivamente (**Figura 2**).

Figura 2. Mapa da localização das estações do INMET em Petrolina. Estação convencional (círculo azul), estação automática (círculo verde) – 30/05/2018



Fonte: Google Maps (2022).

A ausência de dados observacionais em grandes séries de dados é comum, sendo assim, é necessário recorrer a utilização de modelos confiáveis que representem bem as

condições atmosféricas do local a ser estudado. Pensando nisso, os dados observacionais deste estudo foram utilizados apenas para verificar a confiabilidade do modelo que produz os dados de vento das reanálises do ERA5-*Land*. Com alguns ajustes, foi possível organizar os dados observacionais deixando-os na mesma escala temporal que os dados de reanálise, uma vez que os dados da estação convencional, por exemplo, fornecem dados em intervalos de 6 horas. A partir daí, foram escolhidas aleatoriamente, aproximadamente 800 amostras de dados observacionais da velocidade do vento de ambas as estações (automática e convencional), e então, usando alguns testes estatísticos, foi feita a comparação destes com os dados de vento da reanálise para igual período.

Os dados de reanálise foram extraídos do ponto de grade que coincide com as estações do INMET em Petrolina-PE. A reanálise do ERA5-*Land* (MUÑOZ SABATER, 2019), do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), substitui a ERA5 (HERSBACH *et al*., 2019), que tem resolução espacial de 31 km e temporal de 6 horas. A mudança do ERA5 para o ERA5-*Land* representa um ganho na qualidade geral da reanálise e no nível de detalhes como, por exemplo, na resolução espacial, que é de 9 km, e na resolução temporal, que é de 1 hora. O conjunto de dados do ERA5-*Land* foi produzido através da componente terrestre da reanálise climática do ECMWF com o ERA5. Essa reanálise usa a combinação de dados de modelos com dados observacionais.

A reanálise do ERA5-*Land* fornece as componentes zonal e meridional do vento. Assim, foi necessário usar as **Equações (1)** e (**2)** para obter a velocidade escalar (*S*) e a direção (*D*) do vento (BRAGA *et al*., 2021)

(1) $$s = \sqrt{u^2 + v^2}$$

(2) $$\overline{D} = -arctg\left(\frac{u}{v}\right)$$

Na qual ***S*** é a intensidade do vento, ***D*** é a direção, ***u²*** é a componente zonal e ***v²*** é a componente meridional do vento.

2.3. Análise estatística

No processo de avaliação da confiabilidade dos dados de reanálise do ERA5-*Land*, foi utilizado o teste de *Shapiro Wilk* com o objetivo de verificar a normalidade dos dados de

velocidade do vento. Ao nível de significância de 0,05, (**Quadro 1**) apenas os dados de reanálise no mesmo período dos dados da estação convencional, seguiram normalidade, sendo assim, foi utilizado o teste de Kolgomorov-Smirnov (*K-S*), que não necessita da suposição quanto à distribuição do conjunto de dados.

Quadro 1 - Tabela - Teste de normalidade - *Shapiro-Wilk*

Fonte de Dados	Teste *Shapiro-Wilk*	valor-P ou significância
Observado - estação convencional	0.97	< 0,01
Reanálise - período convencional	0,99	**0,44**
Observado - estação automática	0,99	< 0,01
Reanálise - período automática	0,98	< 0,01

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O teste *K-S* é um teste não paramétrico geralmente usado em variáveis aleatórias continuas e serve para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas, estimadas pela função de distribuição em teste (FRACISCO *et al*., 2016). Esse teste verifica se os valores de uma amostra podem ser considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica, e baseia-se no módulo da maior diferença entre a probabilidade observada e a estimada. O valor do teste de aderência *K-S*, pode informar a máxima distância entre as probabilidades empíricas e as teóricas. Assim, menores valores de **D** nos fornecem maiores valores de p-valor e, consequentemente, maior evidência de não-rejeição da hipótese nula H_0, ou seja, maior aderência dos dados à distribuição em teste. No **Quadro 2** vê-se os resultados do teste de *Kolmogorov-Smirnov* (teste *K-S*), aplicados aos dados observacionais da estação automática e dados de reanálise para igual período (Reanálise - período automática), e também aos dados observacionais da estação convencional e dados de reanálise para igual período (Reanálise - período convencional). O objetivo aqui foi verificar a semelhança entre as séries de dados observacionais e de reanálise.

Quadro 2 - Teste K-S para os dados de reanálise.

Dados	D	p-valor
Reanálise - período convencional	0,26	< 0,01
Reanálise - período automática	0,07	0,0548

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Nesse caso, portanto, ao nível de 5% de significância, conclui-se que, os dados de reanálises do ERA5-*Land*, podem ser usados na ausência de dados observacionais na região de Petrolina-PE.

Também foi utilizado o WRPLOT *View* (*Wind Rose Plots For Meteorological Data*) gerando gráficos do tipo rosa dos ventos. A rosa dos ventos exibe a velocidade e direção do vento. Geralmente é exibida, dividida em setores. O estudo adequado da rosa dos ventos permite o posicionamento mais eficiente para captação dos ventos pelos aerogeradores, proporcionando assim mais geração de energia.

2.4. Procedimentos para o cálculo do potencial eólico

Os dados de reanálises da velocidade do vento foram utilizados para a avaliação do potencial eólico por meio do cálculo da densidade de potência usando a **Equação (3)**:

(3) $$\mathrm{P}(V) = \frac{1}{2}\rho V^3$$

na qual P*(V)* é a densidade de potência em Watts/m², *V* é a velocidade instantânea e *ρ* é a densidade do ar, aproximadamente 1.225 (Kg/m³).

Antes do cálculo da densidade de potência, os dados de velocidade do vento foram ajustados à distribuição de Weibull (**Equação 4**), que, entre tantas distribuições, é a que fornece o melhor ajuste para dados de velocidade do vento (SANTOS, 2014).

(4) $$\mathrm{f(u)} = \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{c}}\left(\frac{V}{\mathrm{c}}\right)^{\mathrm{k}-1}$$

Os parâmetros de forma (*k*) e escala (*c*) da distribuição de *Weibull* foram encontrados usando as **expressões (5)** e **(6)** respectivamente.

(5) $$k = \left(\frac{\sigma_v}{Vm}\right)^{-1,086}$$

(6) $$c = Vm \cdot \left(0{,}568 + \frac{0{,}433}{k} \right)^{-1/k}$$

O cálculo da densidade de potência eólica foi feito para as velocidades do vento nas alturas de 10, 100 e 150 metros, para isso, foi utilizado o perfil logarítmico do vento (LIMA *et al*., 2011; OLIVEIRA, 2013), **Equação (7)**:

(7) $$V_z = V_{zr} \cdot \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)}$$

onde *Vz* é a Velocidade média do vento na altura *z* que se deseja saber a velocidade, *Vzr* é a Velocidade média do vento na altura de referência, *z* é a Altura desejada, *zr* é a Altura de Referência e *zo* é o Comprimento da rugosidade da região, neste caso foi adotado 0,03m.

2.5. Seleção de ENOS e Atlântico Tropical Sul

É conveniente, mais uma vez, ressaltar o objetivo geral deste trabalho, que é avaliar o potencial eólico da cidade de Petrolina-PE em condições caracterizadas pela influência relativa do ENOS e ATS, sendo assim, optou-se por escolher situações de relações do ENOS com o ATS já identificadas na literatura. O período escolhido para essa análise foi de 1980 a 2000 no trimestre DJF.

No (**Quadro 3**), por exemplo, estão os anos de ENOS com ocorrência simultânea ou não de anomalias de TSM no ATS. O trimestre DJF foi escolhido porque essas situações foram identificadas especificamente nesse trimestre, considerado a fase madura do ENOS.

Quadro 3 - Anos em que ocorreram simultaneamente episódios de El Niño/La Niña e Atlântico Tropical Sul Quente/Frio (EL-ATSQ e LA-ATSF), episódios de El Niño/La Niña e Atlântico Tropical Sul apresentando condições normais de TSM (EL-ATSN e LA-ATSN). A letra **Q** representa quente, **F** frio e **N** neutro. Seleção realizada entre 1980 a 2000.

EL-ATSQ	EL-ATSN	LA-ATSF	LA-ATSN
1980 - 1983	1986 – 1987	1996 – 1997	1988 – 1989
1997 – 1998	1991 – 1992		1998 – 1999

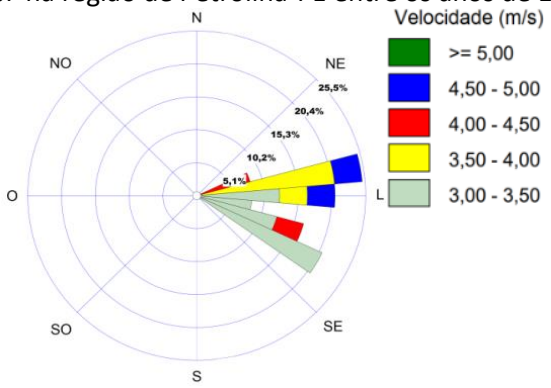
Fonte: Modificado de Andreoly e Kayano (2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Velocidade e direção do vento

A média da variação percentual da direção e intensidade do vento é apresentada nas **Figuras 3** e **4**, através dos gráficos da rosa dos ventos. Os gráficos indicam que, na região de Petrolina-PE, para o trimestre DJF, o vento apresenta direção predominantemente de sudeste e nordeste.

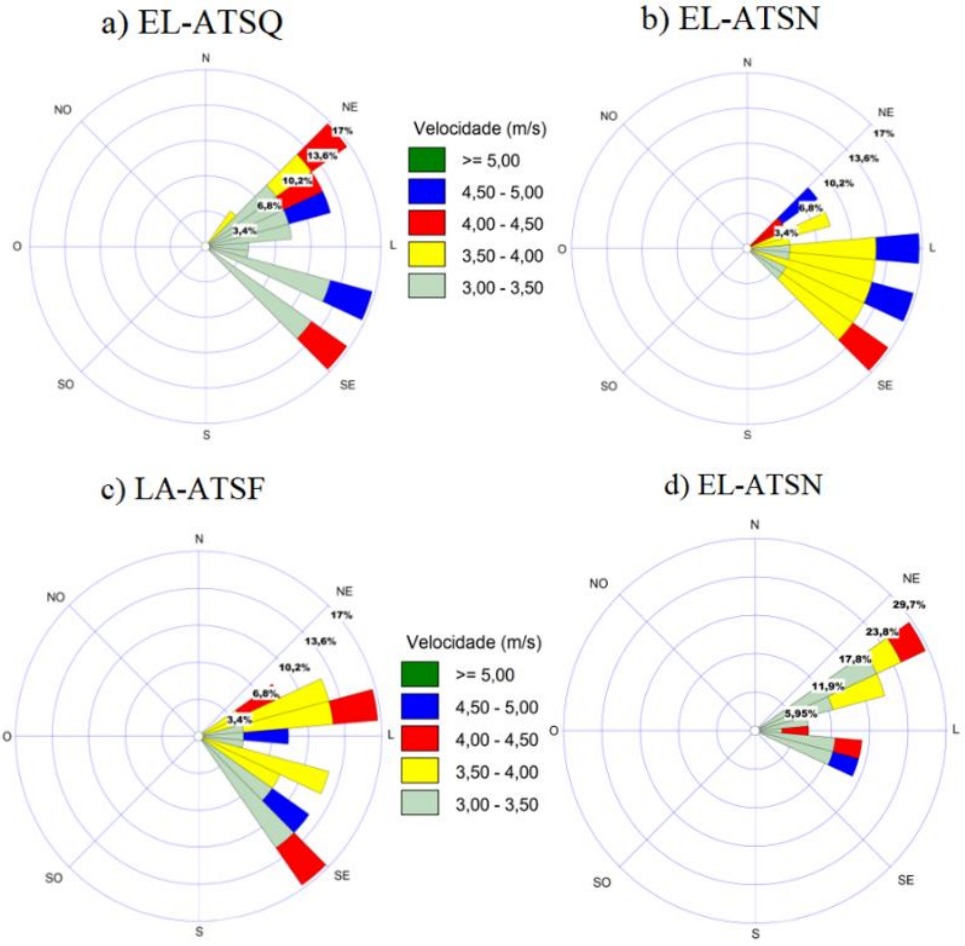
Figura 3. Rosa dos ventos indicando a média da velocidade e direção predominante do vento no trimestre DJF na região de Petrolina-PE entre os anos de 1980 a 2000



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Observa-se, também, que durante a interação do ENOS com o ATS, houve algumas variações na direção predominante do vento, assim também como na sua velocidade (**Figuras 4a**, **4b**, **4c** e **4d**), com maior destaque para as **Figuras 4a** (EL-ATSQ) e **4c** (LA-ATSF).

Figura 4. Rosa dos ventos indicando a velocidade e direção predominante do vento no trimestre DJF para situações de **a)** EL-ATSQ, **b)** EL-ATSN, **c)** LA-ATSF e **d)** LA-ATSN



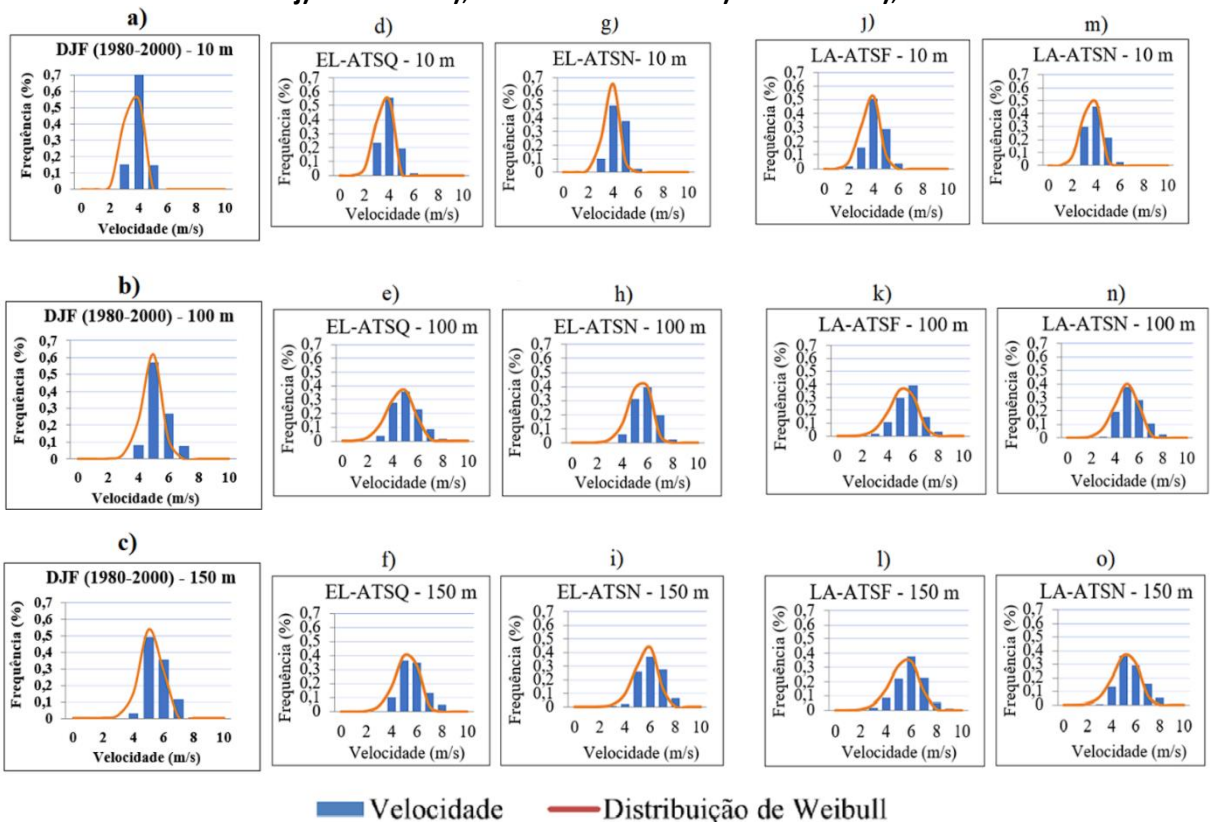
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Esses resultados podem indicar que, em casos de El Niño ocorrendo simultaneamente com o Atlântico Tropical Sul quente, o padrão de vento é alterado assim também como sua velocidade, que é reduzida (**Figura 4a**). Enquanto que, em caso de La Niña ocorrendo simultaneamente com o Atlântico Tropical Sul frio (**Figura 4c**), além de haver mudanças no vento predominante, a intensidade do vento é levemente aumentada. Detalhes quantitativos serão vistos na **seção 3.2.**

3.2. Potencial eólico

A **Figura 5** representa gráficos da distribuição do vento por faixas de velocidade e frequência das velocidades para as alturas de 10, 100 e 150 metros. A curva vermelha representa a distribuição de *Weibull*. Os valores para a média da região no trimestre DJF entre os anos de 1980 a 2000 são representados nas **Figuras 5 a)**, **5 b)** e **5 c)**.

Figura 5. Gráficos da função Distribuição de frequência e ajuste da distribuição de *Weibull* para a velocidade do vento em 10, 100 e 150 metros de altura. Da letra **a)** até a letra **c)**, valores para o trimestre DJF entre 1980 a 2000; Da letra **d)** até a letra **f),** EL-ATSQ; da letra **g)** até a letra **i)**, EL-ATSN; da letra **j)** até a letra **l)**, LA-ATSF e da letra **m)** até a letra **o)**, LA-ATSN.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A regularidade do vento é fator importante na exploração de energia eólica. O fator de forma *k* e de escala *c* da distribuição de *Weibull* estão, respectivamente, ligados a regularidade do vento e frequência de ocorrência dos menores e maiores valores. Maiores valores de *k*, quando a curva atinge forma leptocúrtica, geralmente indicam caraterísticas de um regime de vento constante, no entanto, a medida em que os valores de *c* aumentam, a curva tende a atingir a forma platicúrtica, característico de locais onde o vento é menos estável (AZEVEDO, 2015).

No trimestre DJF, em Petrolina, os ventos são regulares, principalmente na altura de 100 metros, conforme vê-se na **Figura 5 b)**. Dessa forma, de maneira geral, a maior regularidade do vento foi observada nas situações de EL-ATSN à 10 metros de altura (**Figura 5 g**) e em LA-ATSF (**Figura 5 j**), ambas a 10 metros de altura. À medida que aumenta a altura, o vento se torna mais rápido, porém menos estável. A menor regularidade, bem como o pior

cenário para exploração de energia eólica, foi observada no EL-ATSQ em 100 metros (**Figura 5 e**), pois além dos valores de velocidade do vento atingirem valores inferiores ao da média da região, eles foram relativamente irregulares.

A **Tabela 3**, apresenta a média da velocidade do vento, os parâmetros da distribuição de *Weibull* e a média da densidade de potência eólica em W/m² para a região de Petrolina-PE nas alturas de 10, 100 e 150 metros, durante o período analisado. Vale ressaltar, mais uma vez, que esses valores foram obtidos para o trimestre DJF.

Tabela 3 - Média dos parâmetros meteorológicos em Petrolina-PE entre 1980 e 2000

Parâmetros/Variáveis			
Altura	10 metros	100 metros	150 metros
Média da velocidade do vento (m/s)	3,47	4,84	5,08
Weibull – Fator de forma k	8,57	8,57	8,57
Weibull – Fator de escala c (m/s)	3,67	5,12	5,38
Média da densidade de potência (**W/m²**)	**28,75**	**71,90**	**85,30**
EL-ATSQ			
Altura	10 metros	100 metros	150 metros
Média da velocidade do vento (m/s)	3,51	4,58	5,15
Weibull – Fator de forma k	6,44	6,44	6,44
Weibull – Fator de escala c (m/s)	3,76	4,98	5,52
Média da densidade de potência (**W/m²**)	**29,31**	**67,69**	**91,27**
EL-ATSN			
Altura	10 metros	100 metros	150 metros
Média da velocidade do vento (m/s)	3,81	5,32	5,58
Weibull – Fator de forma k	7,15	7,15	7,15
Weibull – Fator de escala c (m/s)	4,06	5,68	5,99
Média da densidade de potência (**W/m²**)	**35,65**	**99,12**	**114,87**
LA-ATSF			
Altura	10 metros	100 metros	150 metros
Média da velocidade do vento (m/s)	3,68	5,13	5,39
Weibull – Fator de forma k	5,71	5,71	5,71
Weibull – Fator de escala c (m/s)	3,97	5,55	5,82
Média da densidade de potência (**W/m²**)	**33,94**	**92,73**	**107,35**
LA-ATSN			
Altura	10 metros	100 metros	150 metros
Média da velocidade do vento (m/s)	3,48	4,86	5,11
Weibull – Fator de forma k	5,64	5,64	5,64
Weibull – Fator de escala c (m/s)	3,76	5,26	5,52
Média da densidade de potência (**W/m²**)	**28,97**	**78,94**	**91,38**

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Observa-se que o valor médio da densidade de potência eólica para o período de 1980 a 2000 é de 28,75 W/m², 71,90 W/m² e 85,30 W/m² para 10 m, 100 m e 150 m respectivamente. Na altura de 10 metros até a altura de 150 metros, o salto de 28,75 para

85,30 W/m² indica um ganho considerável de potencial eólico na medida em que aumenta a altura.

Quantitativamente, a situação mais promissora para a exploração de energia eólica é a do EL-ATSN que apresentou para as alturas de 10, 100 e 150 metros, respectivamente, valores de 6,9 W/m², 27,22 W/m² e 29,57 W/m², acima da média da região durante o período analisado. Por outro lado, foi na situação de EL-ATSQ que foram observados os menores valores de potencial eólico, menores até do que a média da região no trimestre DJF, podendo indicar que talvez não seja viável o investimento e a exploração de energia eólica nessa situação.

Nas situações de LA-ATSF e LA-ATSN, as análises sugerem que, mesmo durante o período de atuação de episódios de La Niña, em que se espera valores de velocidade do vento abaixo da média climatológica (CAVALCANTI *et al.*, 2019), a exploração de energia eólica pode ser quantitativamente viável, pelo menos na região de Petrolina-PE no trimestre DJF, pois em todas as alturas analisadas, os valores de densidade de potência eólica foram superiores ao dá média da região.

4. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi avaliado o potencial eólico na região de Petrolina-PE, no início da estação chuvosa, época mais favorável à produção de energia hidrelétrica, considerando diferentes combinações das condições oceânicas no Pacífico Tropical e Atlântico Tropical Sul.

No sentido de aumento da produção de energia eólica, em relação a influência relativa do ENOS e do Atlântico Tropical Sul, este estudo indica que, durante o trimestre de dezembro, janeiro e fevereiro, em situações de atuação do El Niño, quando não são observadas anomalias positivas de temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico Tropical Sul, há um fortalecimento da velocidade do vento. Por outro lado, em situações de atuação de La Niña, o fortalecimento do vento ocorre quando simultaneamente o oceano Atlântico Tropical Sul está frio. Para essas situações, a análise indicou maior densidade de potência eólica na região de Petrolina-PE.

Nessa linha de raciocínio está em desenvolvimento a análise dos demais trimestres, visando avaliar a sazonalidade e, em particular, a época de estiagem, época mais favorável à produção de energia eólica no semiárido nordestino.

A existência de uma complementariedade sazonal entre os regimes hidráulicos e eólicos na região de estudo representa grandes benefícios ao sistema interligado nacional (SIN), bem como a garantia da produção de energia limpa. No entanto, ainda é um grande desafio lidar com a intermitência e variabilidade dos recursos renováveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLY, Rita Valéria; KAYANO, Mary Toshie. Tropical Pacific and South Atlantic Effects on Variability Over Northeast Brazil. 2006. **International Journal of Climatology**, V 26, issue 3, p. 1895-1912.

AZEVEDO, Danilo César Rodrigues. **Métodos Heurísticos Aplicados no Ajuste de Curvas de Weibull em Energia Eólica**. 126 p. Defesa de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/13024

BRAGA, Rose Angela Hilda Wanzeler; SANTOS, Eliane Barbosa; BARROS, Matheus Ferreira de. Validação de dados de vento da reanálise Era5-Land para estimativa de potencial eólico no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, 142-166, 2021.

CAVALCANTI, Enilson Palmeira; CHAVES FILHO, José Batista. **Variabilidade da velocidade do vento a 10 metros para a região Nordeste do Brasil**. Defesa de dissertação (Mestrado em meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas, PB. 2020. Disponível em: http://www.dca.ufcg.edu.br/posgrad_met/dissertacoes/JoseBatistaChavesFilho_2016.pdf

CORREIA, Magaly de Fátima. Impacto das Ações Antrópicas no Clima do Submédio do Rio São Francisco: Um Estudo Numérico e Observacional. 2001. 181p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – **Universidade de São Paulo, São Paulo**.

CORREIA, Magaly de Fátima; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da; SILVA ARAGÃO, Maria Regina. Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho Lake area. Part One: An observational analysis. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 94, p. 103-113, 2006a. DOI 10.1007/s00703-005- 0173-4.

CORREIA, Magaly de Fátima *et al*. Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho Lake area. Part Two: A regional modeling study. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 94, p. 115-128, 2006b. DOI 10.1007/s00703-005- 0174-3

EPE – Matriz Energética e Elétrica – Matriz Energética. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica. Acesso em 26 de maio de 2022.

FRACISCO, Paulo Megna *et al*. Geoespacialização de Cenários Pluviométricos Através de Kriageagem Utilizando Distribuição Gama, Incompleta e Teste de Kolmogorov-Smirnov. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia** COTECC 2016 Foz do Iguaçu.

FRACISCO, Paulo Megna *et al*. Discriminação de cenários pluviométricos do estado da Paraíba utilizando distribuição Gama Incompleta e Teste Kolmogorov-Smirnov. **Revista Brasileira de Geografia Física** V. 09 N. 01, 2016.

IBGE. Acervo IBGE – **Mapa Físico do Brasil**, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?acervo=mapa&campo=titulo&digital=false&texto=mapa. Acesso em: 20/06/2020.

KANE, R. P. El Niño and La Niña events and rainfall in NE and South Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.10, p.49-59, 1992.

LIMA, Francisco José Lopes *et al*. Avaliação do Potencial eólico no município de Jaguaruana, litoral Cearense. **Ciência e Natura**. 2011.

MUÑOZ, Sabater Joaquin., (2019): ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. **Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**. (Accessed on < 20-10-2021 >), 10.24381/cds.68d2bb3

NÓBREGA, Ranyére Silva; SANTIAGO, Gabriela Ayane Chagas Felipe. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlânticos e Pacifico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. 2014 **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 107-118, jan./abr. 2014. ISSN 1984-2201 Universidade Federal do Ceará.

OLIVEIRA, Soetânia Santos de. **Análise do potencial eólico do Estado da Paraíba utilizando modelos de mesoescala**. 2013. 127 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2013. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3849

REBOITA, Michelle Simões; SANTOS Isimar. Influência de Alguns Padrões de Teleconexão na Precipitação no Norte e Nordeste do Brasil, v. 1, p. 29 2014 **Revista Brasileira de Climatologia**.

SANTANA, Lêda Valeria Ramos *et al*. Comparação dos dados da velocidade do vento no Nordeste do Brasil da ERA-40 e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) utilizando medidas de entropia. **Research, Society and Development**, v.9, n. 8. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5257

SANTOS, Alexandre Torres Silva dos. **Um estudo sobre a variabilidade do vento no nordeste do Brasil através de métodos estatísticos e via modelos dinâmicos de meso e micro escala**. 2014. 109f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2014. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/20586

SHUKLA, Jagadish; MOURA, Antonio D.; On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, Boston, v. 38, p. 2653-2675, 1981.

SILVA, Rafael Aguiar da; AZEVEDO, Francisco Fransualdo. O desenvolvimento do Setor Eólico no Brasil e no Mundo. **Formação (online)**, v. 28, n. 53, p. 809-828, 2021.