

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Karen Fernanda Teixeira Braz Lima

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PADRÕES DE
VELOCIDADE DO VENTO NO NORDESTE
BRASILEIRO ATRAVÉS DA DISTRIBUIÇÃO DE
WEIBULL**

Campina Grande, Fevereiro de 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGMET

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PADRÕES DE VELOCIDADE DO
VENTO NO NORDESTE BRASILEIRO ATRAVÉS DA
DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

KAREN FERNANDA TEIXEIRA BRAZ LIMA

Campina Grande - PB

Fevereiro de 2024

KAREN FERNANDA TEIXEIRA BRAZ LIMA

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PADRÕES DE VELOCIDADE DO
VENTO NO NORDESTE BRASILEIRO ATRAVÉS DA
DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Helber Barros Gomes

Co-Orientador: Malaquias Pena Mendez

Área: Meteorologia de Mesoescala

Campina Grande - PB
Fevereiro de 2024

L732a

Lima, Karen Fernanda Teixeira Braz.

Análise estatística dos padrões de velocidade do vento no Nordeste brasileiro através da distribuição de Weibull / Karen Fernanda Teixeira Braz Lima. – Campina Grande, 2024.

39 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Helber Barros Gomes, Prof. Dr. Malaquias Pena Mendez".

Referências.

1. Meteorologia de Mesoescala. 2. Velocidade do Vento – Nordeste Brasileiro. 3. Energia Eólica. 4. Distribuição de Weibull. I. Gomes, Helber Barros. II. Mendez, Malaquias Peña. III. Título.

CDU 551.515.6(043)

KAREN FERNANDA TEIXEIRA BRAZ LIMA

ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PADRÕES DE VELOCIDADE DO VENTO NO
NORDESTE BRASILEIRO ATRAVÉS DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/02/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 HELBER BARROS GOMES
Data: 07/03/2024 20:04:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. HELBER BARROS GOMES
Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas



Prof. Dr. MALAQUIAS PEÑA MENDEZ
Department of Civil and Environmental Engineering
University of Connecticut



Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande

Documento assinado digitalmente
 CLAUDIO MOISES SANTOS E SILVA
Data: 07/03/2024 20:26:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CLÁUDIO MOISÉS SANTOS E SILVA
Centro de Ciências Exatas e da Terra
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pois até aqui me ajudou o Senhor. Ele me proporcionou forças para que eu pudesse finalizar este curso. Grata pelo discernimento, paciência e conhecimento.

À minha mãe, Ana Paula, por todo ensinamento, suporte, amor e dedicação. Sou/serei eternamente grata pela vida da minha mãe, a qual me proporcionou todos os ensinamentos. Amo você do fundo do meu coração!

Ao meu pai, Josenilson, que com seu coração bondoso sempre incentivou os meus estudos e me deu estímulo para enfrentar todos os obstáculos.

A toda minha família Braz e família Teixeira, por todo amor e suporte. Obrigada por acreditarem em mim e nos meus estudos.

Aos meus amigos, muito obrigada por estarem do meu lado durante esses quatro anos de curso. Cada um de vocês exerceu um papel muito importante para mim, tenham certeza.

Agradeço a todos os funcionários e professores da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA), assim como ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (PPGMet), pelos conhecimentos compartilhados e pelas experiências vivenciadas.

À orientadora, Prof. Dr. Helber Barros Gomes e Prof. Dr. Malaquias Pena Mendez, por todo o ensinamento compartilhado.

A Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa.

Por fim, às pessoas que não foram citadas, mas que de forma, direta ou indireta, contribuíram com a realização deste trabalho e torceram para a conclusão. Obrigado!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: localização das estações meteorológicas e parques eólicos no Nordeste Brasileiro (NEB).....	11
Figura 2: velocidade média anual da velocidade do vento a 10 e 100 metros de altura para a região NEB, e as respectivas coordenadas das estações meteorológicas do INMET, Macau (azul), Parnaíba (verde), Patos (preto) e Guanambi (vermelho).....	17
Figura 3: boxplot da distribuição da velocidade média horária para o período diurno (6h-18h) em (a) Guanambi, (b) Patos, (c) Parnaíba e (d) Macau no período de 2010 a 2020.....	19
Figura 4: ciclo mensal da velocidade média do vento a 10 metros a 100 metros de altura para os municípios de Guanambi (vermelho), Patos (preto), Parnaíba (verde) e Macau (azul), no período de 2010 a 2020.....	21
Figura 5: histograma da velocidade do vento (m/s) a 10 metros de altura com a curva da distribuição de Weibull para os municípios de (a) Macau, (b) Patos, (c) Guanambi e (d) Parnaíba, no período de 2010 a 2020.....	22
Figura 6: histograma da velocidade do vento (m/s) a 100 metros de altura com a curva da distribuição de Weibull para os municípios de (a) Macau, (b) Patos, (c) Guanambi e (d) Parnaíba, no período de 2010 a 2020.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: velocidades anuais médias, máximas e mínimas do vento das estações do INMET a 10 metros de altura, além do desvio padrão e variância calculadas para todos os municípios..... 16

RESUMO

O vento pode ser conceituado como deslocamento do ar atmosférico devido às diferenças de pressão atmosférica entre duas regiões distintas, influenciadas por efeitos locais, seja pela rugosidade da superfície ou pela orografia do local. Compreender as características do regime de vento é importante para otimizar a geração de energia eólica e evitar danos às turbinas. O presente estudo tem o objetivo de identificar o comportamento da velocidade do vento na região do Nordeste Brasileiro, analisando e comparando o comportamento da velocidade do vento em escala mensal, sazonal e horária em quatro locais do NEB, que possuem parques eólicos situados nas proximidades: Patos (PB), Parnaíba (PI), Guanambi (BA) e Macau (RN). Os dados de velocidade média horária do vento a 10 metros foram obtidos através das estações meteorológicas do INMET, e a 100 metros de altura foram obtidos por meio das reanálises do ERA5, de 2010 a 2020. A partir dos resultados, será possível identificar o comportamento, a sazonalidade mensal da velocidade do vento e analisar a tendência da variável, além de aplicar a distribuição de Weibull, uma ferramenta útil para análise e prospecção de potenciais eólicos. A partir dos resultados, observou-se que a estação de Macau apresentou maior velocidade média do vento em contraste com a menor velocidade média registrada em Parnaíba. Os maiores valores máximos de velocidade do vento foram identificados no segundo semestre. De acordo com a distribuição de Weibull, existe uma maior probabilidade de ocorrência de velocidades acima de 4 m/s em Patos, e em Macau, o pico de velocidade máxima é de 5 m/s. Dessa maneira, essa pesquisa é de suma importância para contribuir na avaliação do comportamento da velocidade do vento e ferramenta de apoio para determinação do potencial eólico, para assim ampliar a capacidade de geração de energia eólica no NEB.

Palavras-Chave: Velocidade do vento; Energia eólica; Distribuição de Weibull; Nordeste Brasileiro.

ABSTRACT

Wind can be conceptualized as the displacement of atmospheric air due to differences in atmospheric pressure between two distinct regions, influenced by local effects, whether by surface roughness or by the location's orography. Understanding the characteristics of the wind regime is important to optimize wind energy generation and avoid damage to turbines. The present study aims to identify the behavior of wind speed in the Brazilian Northeast region, analyzing and comparing the behavior of wind speed on a monthly, seasonal and hourly scale in four locations in the NEB, which have wind farms located nearby: Patos (PB), Parnaíba (PI), Guanambi (BA) and Macau (RN). The hourly average wind speed data at 10 meters were obtained through INMET meteorological stations, and at 100 meters high were obtained through ERA5 reanalyses, from 2010 to 2020. From the results, it will be possible to identify the behavior, the monthly seasonality of wind speed and analyze the trend of the variable, in addition to applying the Weibull distribution, a useful tool for analysis and prospecting of wind potential. From the results, it was observed that the Macau station presented the highest average wind speed in contrast to the lowest average speed recorded in Parnaíba. The highest maximum wind speed values were identified in the second half of the year. According to the Weibull distribution, there is a greater probability of speeds above 4 m/s occurring in Patos, and in Macau, the maximum peak speed is 5 m/s. Therefore, this research is extremely important to contribute to the assessment of wind speed behavior and a supporting tool for determining wind potential, thus expanding the wind energy generation capacity in the NEB.

Keywords: Wind speed; Wind energy; Weibull distribution; Brazilian Northeast.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
DOLS	Distúrbios Ondulatórios de Leste
ENSO	El Niño-Southern Oscillation
GVE	Distribuição Generalizada de Valores Extremos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
FIERN	Federação das Indústrias do Rio Grande do Norte
MJO	Madden-Julian Oscillation
NEB	Nordeste Brasileiro
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
TVE	Teoria dos Valores Extremos
TWh	Terawatt-hora
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
NEB	Nordeste do Brasil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 PADRÕES GERAIS DO VENTO.....	4
3.2 PANORAMA GERAL DOS VENTOS NO BRASIL.....	6
3.3 REGIME DE VENTOS NO NORDESTE BRASILEIRO.....	8
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4.1 Área de Estudo e Dados.....	10
4.2 Metodologia.....	12
5. RESULTADOS.....	14
6. CONCLUSÃO.....	23
7. REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

O vento pode ser conceituado como sendo o ar em movimento (BARRETO, 2001; HOLTON, 2004). Este deslocamento do ar atmosférico se deve às diferenças de pressão atmosférica, entre duas regiões distintas (força do gradiente de pressão), influenciadas por efeitos locais, seja pela rugosidade da superfície ou pela orografia do local. O que gera estas diferenças báticas é a distribuição diferencial da radiação solar pelo globo, que por sua vez promove diferentes temperaturas, e por consequência, células de circulação geral, influenciando na distribuição dos centros báticos semipermanentes (HOLTON, 2004). Além disso, existem outros fatores, tais como, continentalidade, altitude e latitude, que influenciam diretamente os processos de aquecimento das massas de ar atmosférico (Mahfouf et al., 1987; MELO, 2014). Os ventos se deslocam das altas para as baixas pressões, sofrem influências também da rotação da terra, da força de coriolis, da gravidade e da força centrífuga ao seu movimento, bem como, da interação com a superfície terrestre representada pelo atrito. (MUNHOZ, 2008; COSTA, 2012; OLIVEIRA PINTO, 2014).

As informações sobre a velocidade do vento próximo à superfície são utilizadas para auxiliar em projetos em diversas áreas, como erosão costeira, dispersão de poluentes, engenharia civil e construção de parques eólicos para geração de energia (SANTOS e SILVA, 2013; GILLILAND, 2018). Além disso, o crescimento da economia mundial aumenta a demanda por energia, e as fontes de energia renováveis, como a eólica, têm se mostrado uma alternativa viável que pode ser amplamente empregada (LUCENA, 2010; PEREIRA, 2013; PES, 2017). Segundo dados da *International Energy Agency*, desde os anos 2000 as fontes renováveis apresentam a maior taxa de crescimento, superando inclusive o carvão e o petróleo. Para os próximos anos as projeções apontam para um crescimento ainda maior, o qual indica um cenário otimista em termos de sustentabilidade e redução dos impactos ambientais (IEA, 2020).

A região do Nordeste Brasileiro (NEB) tem se destacado por ser um dos locais mais atrativos para investimentos no setor da energia eólica com 523 parques eólicos instalados na região dos 637 instalados no Brasil, segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2020). A razão para isso é a predominância de ventos de qualidade, pois o NEB está localizado em uma região (entre 1°S e 17°S e 35°O e 45°O) de confluência dos ventos Alísios de Sudeste (Hemisfério Sul) com os Alísios de Nordeste (Hemisfério Norte), que atuam pelo litoral da região com intensidade e constância ao longo do ano, por isso é utilizada a expressão ventos de qualidade (OLIVEIRA e COSTA, 2011; BRITO, 2018; RAMOS, 2021). Os fenômenos que influenciam o tempo e o clima do NEB podem ser diagnosticados pelo

escoamento, pois a origem do vento está relacionada, em parte, com as diferenças de temperatura e pressão existentes entre duas regiões da atmosfera (BARRETO, 2001; SILVA, 2022). Dessa maneira, o vento e sua variabilidade têm grande importância na definição do tempo e clima do NEB, pois desempenham papel decisivo na distribuição de calor e umidade na atmosfera (BARRETO, 2001; SOUZA, 2017; FERREIRA, 2020).

Devido a sua proximidade com o equador, os ventos alísios apresentam velocidades elevadas na região ao longo de todo ano (CAVALCANTI, 2016; SANTANA, 2020). No primeiro semestre, especificamente durante o outono no Hemisfério Sul, os ventos costumam ser mais fracos, podendo ficar abaixo do ideal para geração de energia, como observado no estudo de Oliveira e Costa (2011). Mas no inverno e na primavera, período conhecido como “safra dos ventos”, a velocidade média mensal supera os 10 m/s em diversos locais do NEB (SANTOS e SILVA, 2013). Outros fatores que também influenciam o padrão de velocidade do vento são as condições de superfície, principalmente vegetação, relevo e obstáculos, os quais explicam a distribuição desigual do recurso eólico dentro do NEB (CARVALHO, 2013; PELLEGRINI, 2019; FERREIRA, 2020).

Por outra perspectiva, o regime de ventos no NEB depende ainda de diversos fenômenos meteorológicos que atuam diretamente como: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLS) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), além daqueles sistemas climáticos que atuam remotamente, como a Oscilação-Sul do El Niño (ENSO) e a Oscilação de Madden-Julian (MJO) na região (MOURA e SHUKLA, 1981; RASMUSSEN e CARPENTER, 1982; GRIMM e TEDESCHI, 2009; GOMES et al., 2015; CAVALCANTI, 2016; BRITO, 2016; GOMES et al., 2019; RAMOS, 2021). Assim como a ENSO exerce influência sobre o regime de precipitação do NEB, este mecanismo também interfere no padrão da velocidade do vento (TREMBERTH e SHEA, 1987; RAO, 1993; JACONDINO, 2019). Durante os anos de El Niño é observado uma predominância de anomalia positiva da velocidade do vento sobre o NEB, com ventos mais intensos principalmente no outono, favorecendo a produção de energia elétrica (CAVALCANTI, 2020).

Compreender as características do regime de vento é importante para otimizar a geração de energia eólica e evitar danos às turbinas (QUEIROZ, 2020; VIAN et al., 2021). Para que se tenha um aproveitamento eólico viável, é necessário que o seu potencial seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m (SILVA, 2007; JACONDINO, 2019). A indústria da energia eólica terminou o ano de 2021 com

795 usinas e 24,57 GW de potência eólica instalada, o que representou um aumento de 24,53% de potência em relação a dezembro de 2020. Além disso, o subsistema Nordeste apresenta uma geração muito próxima à geração total do representado em 2021 com 88,7% de representatividade (ABEEólica, 2021).

Dessa maneira, é evidente que as características climáticas e meteorológicas mencionadas interferem também no comportamento dos ventos. Para isso, é necessário compreender as características do regime de vento e sua sazonalidade de acordo com a local e assim contribuir para projetos futuros de parques eólicos no NEB. Sendo assim, a motivação desse estudo é considerada de interesse científico e social, alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), que visa garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos (ONU, 2023). Mais especificamente, com o intuito de realizar a análise espaço-temporal da variável principal e essencial para a geração de energia eólica, a velocidade do vento. A partir disto, têm-se o objetivo de ampliar os recursos de energias renováveis e conseqüentemente diminuir a dependência das fontes fósseis, que são um dos responsáveis pelo aquecimento global.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este projeto de pesquisa tem como objetivo identificar os padrões da velocidade do vento na região do NEB, analisando o comportamento da velocidade do vento em escala mensal, sazonal e horária em quatro locais do NEB: Patos (PB), Parnaíba (PI), Guanambi (BA) e Macau (RN). A partir dos resultados, será possível identificar a sazonalidade mensal da velocidade do vento, de modo a determinar os períodos do ano mais favoráveis a apresentar as maiores velocidades do vento, assim como a constância desses ventos ao longo do ano.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os padrões de variabilidade do vento nas escalas diurnas, sazonais e anuais;
- Averiguar o comportamento da distribuição de Weibull para avaliar a distribuição de frequência da velocidade do vento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PADRÕES GERAIS DO VENTO

O vento é uma variável meteorológica que quantifica o movimento do ar relativo à superfície, além de ser um fenômeno altamente variável, seja na escala de segundos até na escala multidecadal (BETT et al., 2017). O principal mecanismo de grande escala que controla essa variável é a força devido ao gradiente de pressão atmosférica existente entre as regiões (WALLACE e HOBBS, 2006). Os ventos se deslocam das altas para as baixas pressões e sofrem influência da rotação da Terra, da força de Coriolis, da força centrífuga ao seu movimento e da interação com a superfície terrestre representada pelo atrito, seja por rugosidade da superfície ou pela orografia local (VENDRAMINI, 1986; MUNHOZ e GARCIA, 2008; HOLTON, 2004; MENDONÇA, 2017). As informações sobre a velocidade do vento próximo à superfície são utilizados para auxiliar em projetos de diversas áreas como erosão costeira, dispersão de poluentes, engenharia civil e geração de energia (SANTOS e SILVA, 2013).

Em comparação com as correntes oceânicas, os ventos realizam o transporte de calor, energia e massa ao redor do planeta de maneira mais rápida e eficiente (REBOITA et al., 2010; RAMOS, 2021). Estudos recentes enfatizaram que as mudanças climáticas podem influenciar as tendências da velocidade do vento (JIANG et al., 2010). Na China, foi observada uma diminuição na velocidade do vento entre 1956 e 2004, mas de acordo com o autor, esses resultados podem ser decorrentes da urbanização, a qual aumenta o atrito próximo à superfície. Por outro lado, estudos posteriores (TROCCOLI, 2012), consideraram dois períodos diferentes (1975-2006 e 1989-2006) e observaram uma tendência negativa para as velocidades do vento a 2 metros e positiva para aquelas a 10 metros da superfície.

Estudos recentes examinaram a ocorrência de ventos fortes nas regiões de latitude média dos Estados Unidos e Canadá, assim como a causa desses eventos extremos de vento (NIZIOL e PAONE, 2000; BOOTH *et al.*, 2015). Reconhecendo o potencial de influências geográficas em eventos extremos de vento, Niziol e Paone (2000) apontaram que a canalização topográfica ao longo do Lago Erie foi a principal causa de eventos de ventos fortes não convectivos de sudoeste sobre o Oeste de Nova York de 1977 a 1997. Por outro lado, Letson (2018) mostrou que 95% das ocorrências de rajadas de vento observadas nas estações localizadas nas Great Plains, nos Estados Unidos, excederam a velocidade de 14,4 m/s durante o período de 2002 a 2009. Além disso, Durkee (2012), assim como Gilliland (2019), reforçaram que processos atmosféricos, como ventos isalobáricos, fricção e advecção horizontal e vertical, contribuem para ocorrência

de eventos extremos de velocidades sobre o Great Lake nos Estados Unidos.

Além disso, a velocidade do vento é de suma importância para a energia eólica, que também é afetada por alterações extremas do vento (LUCENA, 2010; SANTOS E SILVA, 2013; SCHMIDT, 2016; THOMAS *et al.*, 2020), como se pode constatar pelas tendências negativas significativas. Neste ponto de vista, os autores observaram redução das tendências de velocidade do vento próximo à superfície em cerca de 88% do continente australiano (MC VICAR *et al.*, 2008; WU *et al.*, 2021), evidenciando que a velocidade do vento variou substancialmente devido a mudanças na rugosidade das superfícies terrestres. Ademais, outros estudos (ALLAN e SODEN, 2007; WENTZ *et al.*, 2007) reforçam a importância das tendências de velocidade do vento a fim de prever *feedbacks* positivos ou negativos entre tendências de precipitação, temperatura e pressão de vapor. Outros estudos, também trataram dos aspectos climatológicos das velocidades do vento sobre o continente a 10 m da superfície, empregando análises estatísticas, como o método de agrupamento, para identificar áreas homogêneas e aspectos de longo prazo das mudanças na velocidade do vento (PIRAZZOLI, 2003; PRYOR, 2006).

A partir da velocidade do vento é possível converter sua potência em energia elétrica, calor ou trabalho mecânico por turbinas eólicas (WIZELIUS, 2015). A energia eólica vem sendo utilizada desde a pré-história, quando o homem utilizava o vento para impulsionar os navios egípcios, ou até mesmo para bombear água para irrigação de plantações e moagem de grãos (LEUNG e YANG, 2012). Com os avanços tecnológicos, as máquinas eólicas tornaram-se capazes de gerar uma maior quantidade de energia, até que surgiram as primeiras usinas eólicas. Hoje, é possível encontrar aerogeradores modernos espalhados pelo mundo, com potência nominal superior a 7 MW por unidade (KALDELLIS, 2011). Em 2021, os cinco principais mercados do mundo, considerados com alto potencial para novas instalações, foram China, EUA, Brasil, Vietnã e Reino Unido, sendo que China obteve ano recorde em instalações eólicas terrestres em 2020, com mais de 50 GW instalados em um único ano (GWEC, 2022).

Os debates sobre a importância das energias renováveis surgem no atual contexto das mudanças climáticas. Em 2015, durante a 21ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP21), governos de cerca de 190 países apresentaram suas estratégias para a redução das emissões nacionais de gases de efeito estufa. Neste contexto, a energia eólica é uma importante fonte de energia renovável, embora não seja amplamente adotada em todo o mundo, poderia satisfazer 20% da demanda mundial de eletricidade até 2050 (EDENHOFER, 2011; GONÇALVES, 2020). A geração de energia eólica cresceu exponencialmente em todo o mundo desde o final da década de 1990, especialmente na União Europeia e nos Estados Unidos, e em 2020, foram instalados 93 GW em novas instalações eólica em todo o mundo (GWEC, 2021).

3.2 PANORAMA GERAL DOS VENTOS NO BRASIL

Os ventos são denominados conforme a localização e a situação em que ocorrem, ou seja, em escala global, por exemplo na região equatorial, que envolve todo o cinturão terrestre, existem os ventos alísios resultantes da convergência de ventos vindos do hemisfério norte com os originados no hemisfério sul (MENDONÇA e DANI-OLIVEIRA, 2007; TOMASINI, 2011). A distribuição geral dos ventos sobre o planeta é controlada pelos aspectos da circulação geral da atmosfera, por exemplo, o regime de ventos do Rio Grande do Sul é definido principalmente pela sua localização geográfica, além de receber influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) dependendo da sua posição ao longo do ano (GILLILAND, 2018). Durante o inverno a sua posição média se desloca para leste e na primavera se desloca para oeste, e tais mudanças na localização do seu centro influenciam o regime de vento sobre o Brasil (MORENO, 1961; SUN *et al.*, 2017).

Estudos sobre o comportamento do vento no sul do Brasil (NIMER, 1979; LIMA LEITE e VIRGENS FILHO, 2006) apontam a direção nordeste (NE) e leste (E) como predominantes. Segundo Reboita *et al* (2010), a região Sul e Sudeste do país mostraram que três regiões ciclogênicas influenciam na posição da ASAS, indicando que a frequência ou localização desses ciclones extratropicais causa deslocamento longitudinal opostos durante o inverno austral e primavera, influenciando nas características do vento em todo o Brasil (MONTEIRO, 2007; DEGOLA, 2013; SILVEIRA, 2014; TUCHTENHAGEN *et al.*, 2020).

Por outro lado, a topografia também exerce influência sobre a variabilidade de vento, como por exemplo, no Vale Paraíba, entre a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, localizadas na divisa dos estados Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (CAMPOS *et al.*, 2016). Oliveira *et al.* (2003) identificaram que a circulação vale-montanha gerou uma circulação local que atingiu a região metropolitana de São Paulo, 15 a 20 km de sua origem. O estado vizinho, Rio de Janeiro, situado na região Sudeste do Brasil, é caracterizado por um clima diversificado influenciado por fatores topográficos com corpos d'água (Baía de Guanabara e Lagoa de Sepetiba) e proximidade a faixa costeira (Sant'anna Neto, 2005; FRANCHITO *et al.*, 2008; BRITO *et al.*, 2017; CORREIA FILHO *et al.*, 2021.)

Além da velocidade do vento, caracterizar a direção do vento também é importante na no transporte e dispersão de poluentes, instalação de indústria, agricultura e sobretudo, na avaliação do potencial de energia eólica (GALVANI, 1999; BOTON *et al.*, 2013; TERASSI *et al.*, 2019; GUARIENTI *et al.*, 2020). Ao caracterizar o padrão de velocidade e direção de vento em

Tangará da Serra no Mato Grosso, Dallacort *et al* (2010) observou a predominância de ventos de Norte e Norte na maior parte do ano, exceto os meses de Abril, Maio, Agosto e Setembro que apresentaram predominância de vento de Sul e altos valores de velocidade do vento. Na mesma linha de pesquisa, Souza e Granja (1997) estudaram o comportamento mensal para a cidade de Campo Grande em Mato Grosso do Sul e concluíram que os ventos predominantes eram de leste, e ocorrência da direção norte em janeiro e dezembro.

Frentes atmosféricas e sistemas frontais são componentes centrais do clima em grande parte do mundo, esses fenômenos frequentes estão associados à precipitação, alterações na temperatura e mudanças na velocidade e direção do vento, entre outros fatores (SIMMONDS *et al.*, 2012). Machado *et al* (2016) realizaram estudos a respeito da distribuição das velocidades do vento e da probabilidade de ocorrência de ventos extremos ao longo da costa do Rio Grande do Sul. Os autores verificaram que houve aumento na frequência dos eventos extremos de velocidade do vento ao longo da costa do Rio Grande do Sul, os quais oferecem riscos costeiros como tempestades e erosão.

Em outro caso, Ortolani (1986) verificou que as velocidades instantâneas máximas de vento têm uma variação significativa com a época do ano, a latitude e a altitude no estado de São Paulo. Por outro lado, autores (WAGNER *et al.*, 1987) ajustaram a distribuição estatística de valores extremos de Gumbel às velocidades máximas diárias em Londrina e Ponta Grossa por períodos de retorno de 2, 10 e 20 anos. Nesta perspectiva, Ely e Pereira (2011) determinaram a distribuição de Gumbel para analisar as velocidades médias diárias dos ventos no estado do Paraná e para os diferentes níveis de probabilidades, e os resultados concluíram que, no inverno e primavera austral, os ventos sopram com intensidade superior à média, sendo o mês de setembro o que apresentou os maiores valores.

O estudo de padrões climáticos extremos tem se tornado cada vez mais relevante devido ao aumento da frequência de sistemas meteorológicos severos que causam impactos destrutivos quando combinados com o crescimento desordenado das cidades e o aumento da população urbana (EASTERLING *et al.*, 2007). No Rio Grande do Sul (RS), sul do Brasil, as tempestades são frequentemente associadas a ciclones extratropicais de alta intensidade, que geram ondas de vento que podem alterar o perfil de uma praia de seu estado máximo de acreção para um estado completamente erodido em poucas horas a alguns dias. (CALLIARI *et al.*, 1998, MACHADO *et al.*, 2010).

Diante dos fenômenos de escala sinótica que rege o clima na região Sul e Sudeste (SARAIVA *et al.*, 2003), como os sistemas frontais, diversos estudos foram realizados. Um deles buscou descrever a distribuição das velocidades do vento ao longo de 66 anos (1948-2013) e a

probabilidade de ocorrência de ventos extremos ao longo da costa do RS (sul do Brasil). Durante o período estudado, Machado e Calliari (2016) observaram que apenas 0,159% dos dados de velocidade do vento foram iguais ou superiores a 17 m/s. Além disso, houve um aumento no número de eventos extremos de velocidade do vento na região litorânea do Rio Grande do Sul ao longo do período de estudo. Dessa maneira, os principais sistemas meteorológicos geradores de ventos fortes no litoral do Rio Grande do Sul são os ciclones extratropicais (CALLIARI *et al.*, 1998; MACHADO *et al.*, 2010), seguidos das frentes frias.

Dessa forma, torna-se evidente a influência de eventos extremos de precipitação sobre o regime de ventos em várias regiões do Brasil, e conseqüentemente na capacidade de geração de energia eólica (CAMPOS *et al.*, 2020). O Brasil tem-se destacado por seu grande avanço na área de energias renováveis, principalmente na implantação de parques eólicos. Atualmente, a energia eólica representa 12% da matriz elétrica brasileira, com 22 GW de capacidade instalada em 2021, ou seja, 36,2 milhões de residências podem ser abastecidas por turbinas eólicas, na média mensal (ABEEólica, 2021). Neste mesmo ano, de acordo com a ABEEólica, foram instalados 812 novos parques eólicos com mais de 9200 turbinas eólicas em operação em 12 estados brasileiros.

3.3 REGIME DE VENTOS NO NORDESTE BRASILEIRO

O clima na costa norte-nordeste do Brasil é classificado como semiárido, enquanto na costa leste é do tipo tropical úmido (KÖPPEN E GEIGER, 1928; LEÃO E DOMINGUEZ, 2000; ALVARES *et al.*, 2014). A estação chuvosa na faixa costeira leste do NEB, compreendido do Estado do Rio Grande do Norte até a Bahia, abrange o período de abril a julho, que representa 60% da precipitação anual (RAO *et al.*, 1993). Por outro lado, na estação seca (setembro a dezembro), ocorre 10% da precipitação anual. Outro aspecto importante é que o período de maior intensidade do vento coincide com o período seco da região, ou seja, do ponto de vista energético, no NEB existe uma forte relação de complementaridade sazonal dos recursos eólicos com os recursos hídricos (PINTO *et al.*, 2017).

A variabilidade da velocidade do vento na região do NEB é influenciada por diversos fatores, apontados por Troccoli (2012), como: (i) o relevo acentuado e a rugosidade aerodinâmica do terreno; (ii) a presença de orografia, causando estabilidade térmica; (iii) a sobreposição da circulação atmosférica em diferentes escalas espaciais (global, sinótica, mesoescala e microescala), o que influencia as variabilidades sazonais e interanuais do regime de ventos. Alguns dos sistemas meteorológicos atuantes no NEB são a Zona de Convergência

Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e em alguns casos pontuais, frentes frias atuantes no sul do Estado da Bahia (KOUSKY, 1980; UVO E BERNDTSSON, 1996; FERREIRA E MELLO, 2005; FEDOROVA, 2016; HELBER et al., 2017).

Compreender as características do regime de vento é importante para garantir a qualidade e ampliar a geração de energia eólica no NEB, em que está localizado o estado com maior produção de energia eólica, o Rio Grande do Norte (ABEEólica, 2021). O NEB se destaca nessa expansão nacional da capacidade instalada de energia eólica, que alcançou 13,25 GW em 2019, contra 0,43 GW em 2009, ou seja, um crescimento percentual de cerca de 41% em 10 anos (BRANNSTROM et al., 2020). Segundo Gonçalves (2020), esse crescimento nos últimos anos foi favorecido devido às condições favoráveis do vento no NEB, como a alta velocidade dessa variável e sua regularidade ao longo do ano, aliado ao fato dela se mostrar como uma fonte renovável limpa, com segurança em seu abastecimento e com baixo custo de produção.

Grande parte da pesquisa eólica realizada recentemente foi avaliada na avaliação da perspectiva futura da energia eólica (LUCENA et al., 2010; PEREIRA et al., 2010; REBOITA et al., 2017). Estudos realizados por Lucena (2010), mostraram que ventos próximos à superfície (10m) no litoral norte do Brasil vão sofrer um aumento até o final do século 21, baseado nos cenários pessimistas altos (A2) e otimistas baixos (B2) do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Ao analisar a densidade de vento a 100 metros de altura, Reboita et al (2017), concluiu que a densidade do vento deve aumentar na porção norte e centro-leste do Brasil em um futuro próximo. Além disso, também previram que a densidade de energia prevista para a parte leste do NEB será adequada para a produção contínua de energia eólica. Essas previsões de vento são essenciais para os estados do NEB, que representam 79% dos locais operacionais e 98% dos planejados nacionais no Brasil (ANEEL, 2017).

O Brasil encerrou 2022 com 8,0 GW de expansão na capacidade instalada de energia elétrica e a maior contribuição para o alcance do resultado – o segundo melhor desde 1996 – saiu de novos parques eólicos em operação na Bahia, no Piauí e no Rio Grande do Norte (FIERN, 2023). O estado do Rio Grande do Norte tem potencial eólico onshore (em terra) duas vezes maior que o estimado 20 anos atrás, e capacidade de expandir a geração dessa fonte de energia em pelo menos 93 Gigawatts (GW) a 200 metros de altura – o equivalente a 15 vezes o que está em operação atualmente em seu território (ABEEólica, 2022).

Em termos de representatividade e abastecimento, a geração verificada pela fonte eólica em 2021 foi responsável por 12,18% na média de toda a geração injetada no Sistema Interligado Nacional (SIN), e 104% da energia consumida no subsistema Nordeste veio dos parques eólicos

em 2021 (ABEEólica, 2021). Os quatro estados do NEB com maior geração no ano de 2021 foram Rio Grande do Norte (21,23 TWh), Bahia (21,15 TWh), Piauí (9,10 TWh) e Ceará (7,91 TWh). A energia renovável é uma das principais atividades econômicas do Rio Grande do Norte, com potencial para ser um dos impulsionadores do desenvolvimento potiguar e assegurar, ao Estado, um papel estratégico no desempenho do país na produção energética (LIRA, 2014; BRANNSTROM, 2017; SANTOS et al., 2020; ABEEólica, 2022).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo e Dados

A área de estudo refere-se a 4 localidades inseridas no NEB, sendo elas: Macau/RN, Parnaíba/PI, Patos/PB e Guanambi/BA. O município de Macau está localizado na Mesorregião Central Potiguar e no Polo Costa Branca, pertencente ao litoral setentrional do Rio Grande do Norte, e está inserido no bioma caatinga. Possui uma área territorial de 788 km², e é um dos maiores produtores de sal do Brasil (PREFEITURA DE MACAU, 2022). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é do tipo Bsh, caracterizado por um clima seco, semiárido e com estação chuvosa no outono/inverno (KÖPPEN, 1928, FERREIRA E MELLO, 2005). Possui precipitação pluviométrica anual média de aproximadamente 471,61 mm, e temperaturas médias anuais de 27°C, máxima de 32°C e mínima de 23°C (INMET, 2020).

Localizado no extremo litoral Norte do Piauí, o município de Parnaíba também está inserido no bioma Caatinga e possui uma área territorial de 436 km². A sua classificação climática é do tipo As, com clima tropical seco e precipitação pluviométrica anual média de aproximadamente 996,9 mm e velocidade anual média do vento de 3,9 m/s. No Centro Sul da Bahia, está localizado o município de Guanambi a 525 metros de altitude e área territorial de 1295 km². O seu clima é caracterizado do tipo As (KÖPPEN, 1928), tropical com chuvas de inverno, precipitação média anual de 550 mm, apresentando temperatura média anual de 22,6 °C e precipitação média de 715 mm/ano.

O município de Patos está situado a 268 m de altitude na mesma região do Sertão Paraibano, é conhecido como a capital do sertão. A sua classificação climática é do tipo Bsh, semelhante ao município de Macau, com clima seco e semiárido, com temperatura máxima de 38°C e mínima de 28°C. A velocidade anual média do vento é de 3,8 m/s, sendo setembro e outubro os meses de maior intensidade, e a precipitação anual média gira em torno de 680 mm, concentrado principalmente no verão/outono (INMET, 2020).

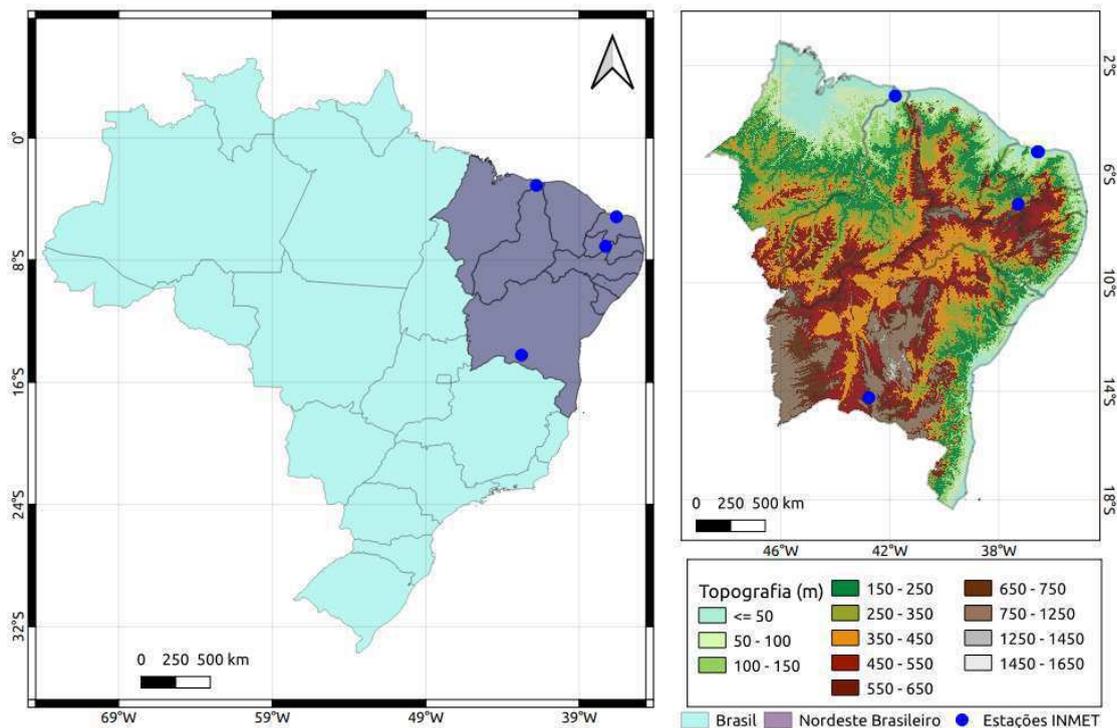


Figura 1: localização das estações meteorológicas e parques eólicos no Nordeste Brasileiro (NEB).

Os dados de velocidade do vento horário a 10 metros de altura, foram obtidos das estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes ao período de 2010 a 2020. Por outro lado, o cenário de escassez de dados em algumas estações conduz a dificuldades e incertezas no desenvolvimento de malhas interpoladas a partir de dados observados (AMINI et al., 2018; SIEFERT et al., 2022). Inicialmente, o objetivo era trabalhar com 30 anos de dados, recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para determinação das normais climatológicas, porém devido ao déficit de dados superior a 60% de algumas estações, o intervalo de tempo foi reduzido para 10 anos. Os dados foram organizados em velocidade média horária e velocidade média mensal, a fim de identificar a sazonalidade desta variável nas quatro estações, que foram selecionadas em razão de apresentarem parques eólicos em suas proximidades.

Por outro lado, tinha-se o objetivo de analisar o regime de ventos a 100 metros de altura, entretanto, as estações do INMET só fornecem dados a 10 metros de altura. Assim, a velocidade horária do vento a 100 metros de altura, foi obtida a partir da reanálise do European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) de quinta geração (ERA5) e substituído do ERA-Interim, que foi encerrada em 2019, baseados no Integrated Forecasting System Cy41r2, um sistema numérico de previsão meteorológica de alta resolução (CCCS, 2017; HERBACH et

al., 2019, 2020; GUALTIERI, 2021). A reanálise combina dados de modelo com observações de todo o mundo em um conjunto de dados globalmente completo e consistente usando as leis de física, permitindo inferir características como variabilidade ou tendências para regiões ou variáveis (CHADEE e CLARKE, 2014; SILVA et al., 2019). Os dados de reanálise do ERA5 são conjuntos de dados em grade que possuem resolução horizontal de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ e resolução temporal de hora em hora (HERSBACH *et al.*, 2018).

$$|\vec{V}| = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

Para os dados do ERA5 foi necessário o cálculo da velocidade do vento horária (m/s) (1) a 10m e a 100m, a partir das componentes u e v (CCCS, 2017), referentes ao período de 2010 a 2020 para modo de comparação.

4.2 Metodologia

Os dados de velocidade do vento apresentam variações durante o dia, assim como variações ao longo do mês, e por isso, é necessário que os dados observados e os de reanálise (ERA5) sejam comparados através de índices estatísticos (LIMA et al., 2012; MARIANO et al., 2017). A Erro Quadrático Médio (RMSE) tem sido usada como uma métrica estatística padrão para medir o desempenho do modelo em estudos meteorológicos, qualidade do ar e entre outras pesquisas climáticas (ROCHA et al., 2012; CHAI e DRAXLER, 2014). No campo das geociências, muitos apresentam o RMSE como uma métrica padrão para os erros do modelo, de forma a manter a mesma dimensão da variável em análise (MCKEEN et al., 2005; SAVAGE et al., 2013; CHAI et al., 2013; CARVALHO, 2015).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\phi_i - \phi_{oi})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Onde N é número de amostras, ϕ_i é o valor observado e ϕ_{oi} é o valor estimado (KENNEDY e NEVILLE, 1986). A RMSE é uma medida quadrática em que quanto mais próximo o valor for de zero, semelhança entre as séries observadas e simuladas será maior (JACOVIDES e KONTOYIANNIS, 1995; MALTA, 2009; FILHO, 2016). O Erro Médio Absoluto (EA) é outra medida útil amplamente utilizada nas avaliações do modelo, e só poderá assumir valores positivos por definição, dada por:

$$EA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |\phi_i - \phi_{oi}| \quad (3)$$

Vale ressaltar que este é um resultado linear que dá a magnitude média dos erros, ou seja, quanto menor for o valor de EA, maior será a semelhança entre as séries observadas e estimadas (KENNEDY e NEVILLE, 1986). A RMSE e o EA são medidas de erros usados para representar as diferenças médias entre os valores estimados e os valores observados (BAR-LEV, 1999). O primeiro fornece uma informação em relação à dispersão dos dados, ou seja, o grau de espalhamento obtido na comparação com os valores estimados, sendo que o EA é o menor sensível a valores extremos (OLIVEIRA, 2014; WANG e LU, 2018).

Recentemente, extremos climáticos têm sido amplamente estudados em uma série de escalas espaciais e temporais (EASTERLING et al., 2000; KHARIN, 2007; CHENG et al., 2013). Extremos climáticos, incluindo eventos intensos de precipitação e dias de calor extremos, têm aumentado substancialmente nas últimas décadas (VOSE ET AL, 2005; ALVES, 2017), e de acordo com estudos a ocorrência de eventos extremos cresceram significativamente na segunda metade do século 20 (HAO et al., 2013). Os fundamentos expostos por Fisher e Tippett, definiram os três tipos possíveis de distribuições dos valores extremos, conhecidas como de Gumbel (tipo I), Fréchet (tipo II) e de Weibull (tipo III). Inicialmente, Fréchet (1927) apresentou uma possível distribuição limite para o máximo, em seguida Fisher e Tippett mostraram que o limite da distribuição de máximos só pode ser um entre os três tipos. Em seguida Gumbel (1937a, 1937b) tratou com aplicações práticas da estatística de valor extremo nas áreas de tempo de vida de seres humanos e emissões radioativas, mais adiante, Gumbel (1948) fez aplicações na área hidrometeorológica (enchentes anuais, precipitação máxima, etc).

Essas distribuições são frequentemente utilizadas para estimar probabilidades de ocorrência de ventos extremos e valores pré-estabelecidos ou para prever o valor máximo de velocidade do vento em determinados períodos de tempo. A partir disso, surgiram novos estudos com o objetivo de identificar o tipo de distribuição mais adequada para uma determinada amostra de dados, como por exemplo, os procedimentos de Van Monfort (1978), Oliveira (1981) e Hosking et al. (1985), e o da curvatura, desenvolvido por Castillo (1988). Para a implementação destes métodos, embora não seja necessário estimar os parâmetros dos três tipos de distribuições de valores extremos, Raynal (1997) proporcionou uma solução aproximada apenas ao problema da identificação.

Em estudos sobre velocidades máximas de vento (ABILD et al., 1992; SIMIU E FILLIBEN, 1976; WALSHAW, 1994), a abordagem mais utilizada tem sido a distribuição de

Gumbel (também conhecida como de Fisher-Tippett), que é intermediária entre as duas distribuições, e em diversos estudos desenvolvidos sobre o comportamento dos ventos, é a que possui melhor ajuste dos dados (BECK E CORRÊA, 2013; REIS ET. AL., 2019). A distribuição Weibull recebeu o nome do físico sueco Waloddi Weibull (1939a, b) que usou essa metodologia para representar a distribuição da resistência à ruptura de materiais e em 1951 para uma ampla variedade de outras aplicações (WEIBULL, 1939). A estreita concordância que Weibull demonstrou entre seus dados observados e aqueles previstos com os modelos Weibull ajustados foi bastante impressionante (JOHNSON et al., 1994).

A distribuição de Weibull também é comumente utilizada na indústria de energia eólica para avaliar a distribuição de frequência da velocidade do vento, para assim estimar a geração de energia (PES et al., 2016). A distribuição de Weibull requer dois parâmetros: o parâmetro de forma k e o parâmetro de escala β . A forma geral da distribuição Weibull é a seguinte:

$$f(x) = \frac{k}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{(k-1)} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^k} \quad (4)$$

Onde $f(x)$ é a frequência ou probabilidade de ocorrência de velocidade do vento, β é o parâmetro de escala Weibull com unidade igual à unidade de velocidade do vento e k é o parâmetro de forma Weibull sem unidade. Neste estudo a distribuição de Weibull é utilizada para representar a frequência de ocorrência de cada velocidade do vento.

Existem diversos métodos para determinar a distribuição da velocidade do vento. Neste caso, para o cálculo dos parâmetros ζ (zeta), Δ (delta) e β (beta) da distribuição de Weibull, foi usado o método de L-momentos através de estimativas por combinações lineares de estatística (HOSKING, 1990). De acordo com os fundamentos desta metodologia, a determinação dos parâmetros de distribuição através do L-moments, podem ser definidos para qualquer variável aleatória que abrange a sumarização e descrição de amostras de dados observados, estimativa de parâmetros e quantis de distribuições de probabilidade e hipóteses. testes para distribuições de probabilidade (HOSKING, 1996; TEIMOURI, 2013; ARSLAN, 2014)

5. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta as velocidades anuais médias, máximas e mínimas do vento das estações do INMET a 10 metros de altura, além do desvio padrão e variância calculadas para todos os municípios. A estação de Macau apresentou maior velocidade média do vento em contraste com a menor velocidade média registrada em Parnaíba. Por estar situada em uma região litorânea na porção norte do NEB, o município de Macau recebe influência dos ventos alísios

atuantes na região equatorial, provocando ventos mais intensos nesta localidade (RAO et al., 1993; BRITO, 2016; RAMOS, 2021). Os municípios de Guanambi e Macau possuem velocidade média de 3,98 m/s e 3,41 m/s, respectivamente. Os parâmetros de desvio padrão apresentaram valores distintos nos locais selecionados, sendo em Parnaíba o de maior valor e em Macau o de menor valor. Uma distribuição que apresenta um maior desvio padrão, significa uma maior dispersão em torno da média, assim como um menor desvio padrão representa uma concentração maior em torno da média (CORREA, 2003). Desse ponto de vista, a velocidade do vento no município de Parnaíba apresentou a maior dispersão em torno da média, enquanto que em Macau, os valores de velocidade do vento estão agrupados em torno da média.

Em relação ao Erro Quadrático Médio (RMSE) o município de Guanambi apresentou o menor valor com 1,82, seguido de Patos, Parnaíba e por último Macau, que apresentou o maior RMSE (Tabela 1a). Tal métrica é importante para identificar o desempenho do modelo em relação aos valores observados de velocidade do vento, ou seja, quanto menor o RMSE, melhor a performance do modelo, neste caso, a distribuição de Weibull. Levando em consideração a Tabela 1a, dos dados de velocidade do vento proveniente da reanálise do ERA5, o RMSE apresentou resultados maiores em comparação com a Tabela 1b, no qual o município de Parnaíba demonstrou um pior desempenho na aplicação da distribuição de Weibull com 2,58. No geral, o modelo em questão apresentou melhor destreza com a velocidade do vento proveniente das estações meteorológica do INMET, pois foram observados os menores valores de RMSE, enquanto que com os dados do ERA5, verificou-se que a distribuição de Weibull não foi tão precisa como o esperado.

(a) INMET	Lat	Lon	Vel. Média (m/s)	Desvio Padrão	Variância	Mediana	Mínimo	Máximo	RMSE
Guanambi	-14.21	-42.75	3,98	0,72	0,52	3,72	3,03	5,08	1,820
Macau	-5.15	-36.57	4,55	0,65	0,42	4,55	3,62	5,38	2,260
Parnaíba	-3,09	-41,78	3,23	0,94	0,89	2,92	2,18	4,72	2,133
Patos	-7.08	-37.27	3,41	0,70	0,49	3,34	2,35	4,40	2,005

(b) Reanálise ERA5	Lat	Lon	Vel. Média (m/s)	Desvio Padrão	Variância	Mediana	Mínimo	Máximo	RMSE
Guanambi	-14.21	-42.75	5,45	2,27	4,93	5,77	0,01	12,80	2,336
Macau	-5.15	-36.57	7,37	2,68	3,96	7,41	0,12	14,22	2,174
Parnaíba	-3,09	-41,78	6,66	2,54	4,62	6,68	0,06	14,31	2,581
Patos	-7.08	-37.27	5,98	2,54	4,54	6,10	0,03	12,68	2,445

Tabela 1: velocidades anuais médias, máximas e mínimas do vento das estações do INMET a 10 metros de altura, além do desvio padrão, variância e RMSE calculadas para todos os municípios.

A Figura 2 representa a velocidade média anual da velocidade do vento em 10 metros e 100 metros de altura para a região NEB. A partir dessa figura é possível observar maiores médias da velocidade do vento a 100 metros de altura, em que o litoral norte do NEB, entre os estados de Piauí e Rio Grande do Norte, apresentou velocidades acima de 8 m/s. Dentre os locais de estudo, o município de Macau apresentou a maior média anual de velocidade do vento a 100 m, com 7 m/s e 6 m/s a 10 m. Em Guanambi, a média a 10 m ficou em torno de 3 m/s, enquanto a 100 m, se aproximou de 5 m/s. Vale ressaltar que o município de Guanambi está a 525 m de altitude, e essas áreas de elevações tendem a apresentar velocidades médias altas, com uma ênfase em condições locais de relevo que controlam o escoamento atmosférico (SIEFERT et al., 2022). Ou seja, a média anual da velocidade do vento nos municípios selecionados é maior que 100 m, em comparação com a altitude de 10 m.

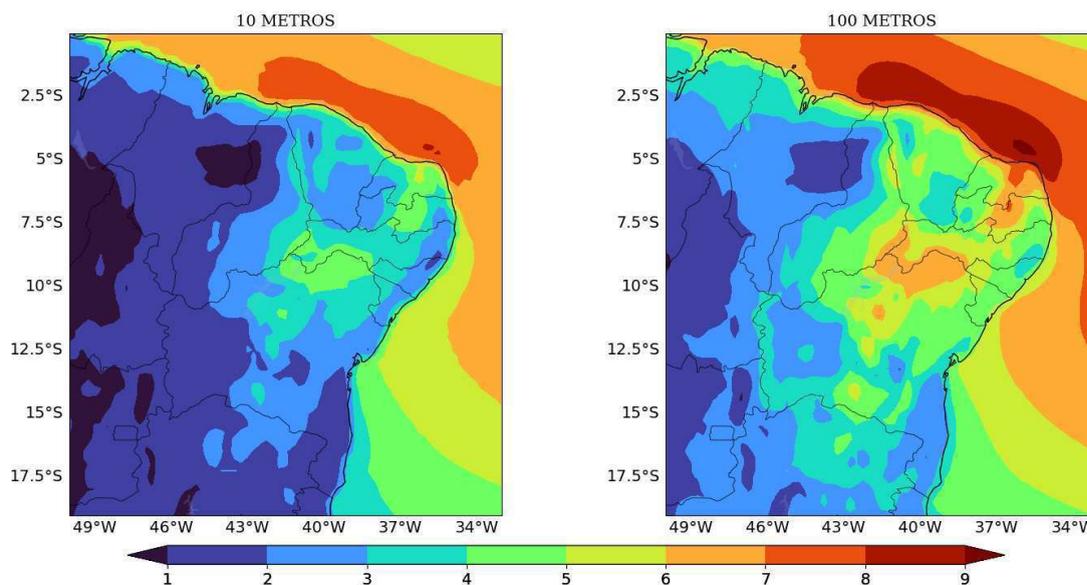


Figura 2: velocidade média anual da velocidade do vento a 10 e 100 metros de altura para a região NEB.

Na Figura 3 está representada a distribuição da velocidade média horária em (a) Guanambi, (b) Patos, (c) Parnaíba e (d) Macau no período de 2010 a 2020. A Figura 3a representa a distribuição da velocidade média horária para o período diurno (6h-18h) na estação de Guanambi no estado da Bahia. A partir deste boxplot, nota-se que a velocidade média do vento atinge seu pico às 12h em Guanambi. Para que se tenha um aproveitamento eólico viável, é necessário uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s (Silva, 2007). E geralmente, a geração elétrica se inicia com velocidades do vento da ordem de 3 m/s (COSTA e LYRA (2012).

Na figura 3b e 3c observa-se a distribuição da velocidade média horária para o período diurno (6h-18h) nas estações de Patos e Parnaíba no estado da Paraíba. Observa-se que a velocidade média do vento começa a se intensificar a partir das 11h em ambos locais. Segundo resultados obtidos por Lima et al. (2010), o município de Patos está inserido em um grupo de componentes de velocidade do vento que apresenta bons resultados associados ao fenômeno meteorológico brisa marítima. Análises da velocidade do vento realizadas por Carneiro (2015), também observou ventos mais intensos a partir de 11h, seguindo com esse comportamento até 01h da manhã.

A Figura 3d representa o boxplot da distribuição da velocidade média horária na estação meteorológica de Macau no estado do Rio Grande do Norte no período de 2010 a 2020. Em comparação com as outras regiões, esta possui as maiores velocidades médias do vento, com uma tendência crescente a partir das 11h e com pico no final da tarde. Além disso, a máxima velocidade do vento observada neste período foi de 13,6 m/s. Segundo a Companhia Hidro

Elétrica do São Francisco (CHESF), após o processamento de registros de velocidade do vento de 81 estações meteorológicas para o período de 1977 a 1981, revelou que as maiores velocidades médias anuais foram encontradas em Macau (RN). Devido às altas velocidades do vento, o município se destaca por seu grande potencial eólico, com média anual de 41,27 W/m², como demonstrado por Silva (2004). Por estar situada em uma região litorânea, Macau é influenciada pelos efeitos locais de brisa marítima e terrestre conforme sugerem Souza e Oyama (2017).

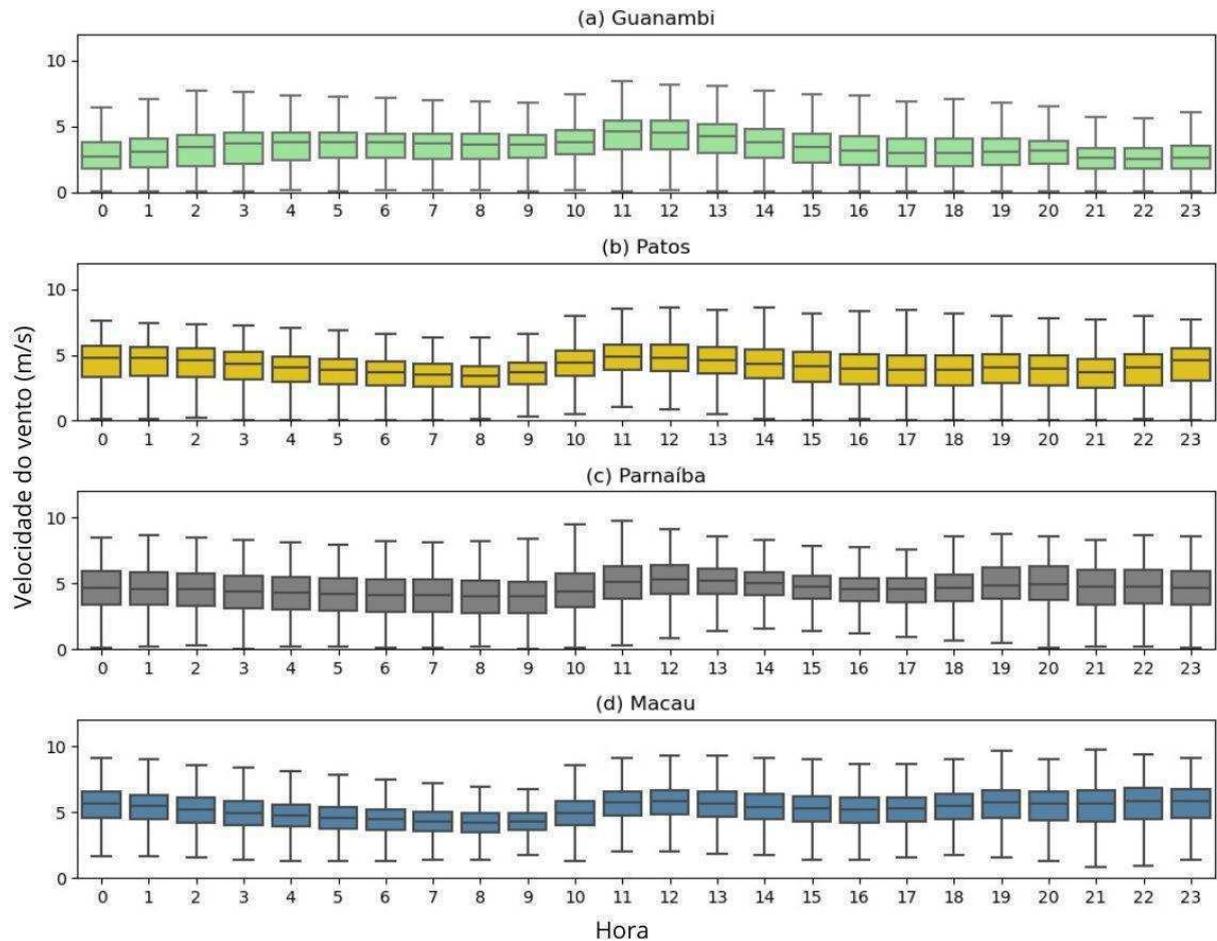


Figura 3: boxplot da distribuição da velocidade média horária em (a) Guanambi, (b) Patos, (c) Parnaíba e (d) Macau no período de 2010 a 2020.

A Figura 4a apresenta o ciclo mensal da velocidade média do vento nas estações do INMET em Guanambi (vermelho), Patos (preto), Parnaíba (verde) e Macau (azul) no período de 2010 a 2020. Observa-se pela Figura 4a que o município de Macau apresenta os maiores valores de velocidade média mensal, enquanto que em Parnaíba foram observados as menores velocidades do vento. Por outro lado, valores máximos de velocidade do vento durante o ano, foram identificados no segundo semestre do ano, que compreende a estação do inverno e primavera. Por outra perspectiva, os meses de março a julho possuíam os menores valores de velocidade média mensal. Regiões litorâneas tendem a apresentar as maiores médias mensais de velocidade do vento, especialmente entre os meses de setembro a janeiro (COSTA, 2022). A predominância das maiores intensidades de velocidade do vento são verificados no segundo semestre do ano, devido o período mais seco e de menores eventos de chuva (LOPES, 2022),

pois o aquecimento da superfície continental é maior e, conseqüentemente, o efeito brisa é intensificado (OLIVEIRA, 2017; MEDEIROS, 2020; COSTA, 2022).

Na Figura 4b está representado o ciclo mensal da velocidade média do vento em Guanambi (vermelho), Patos (preto), Parnaíba (verde) e Macau (azul), a 10 metros, no período de 2010 a 2020. Observa-se que o município de Macau (azul) apresentou os maiores valores de velocidade média mensal, com 6 m/s a 10m no mês de setembro com o maior valor durante o ano, assim como foi observado por LIMA (2010), ao aplicar Análises Multivariadas para identificar futuros sítios de geração de energia eólica em regiões do Rio Grande do Norte. No município de Parnaíba (verde), em 10m e 100m de altura, os valores ficam em torno de 3 a 6 m/s (b), apresentando maiores velocidades de vento nos meses de outubro e novembro. Em contrapartida, em Guanambi (vermelho) foram observados os menores valores de velocidade do vento a 10m, com exceção do mês de abril em que superou a velocidade média de Patos (preto) com 3 m/s (Figura 4b).

A 100m de altura (Figura 4c), o município de Macau também apresentou os maiores valores de velocidade média mensal, com 9m/s no mês de setembro. Em Parnaíba, a média da velocidade mensal ficou em torno de 5 a 8 m/s, apresentando as maiores médias nos meses de setembro e outubro. Tais resultados foram semelhantes aos encontrados por LIRA et al. (2016), que o perfil de velocidade média do vento de Parnaíba, em maioria, ficou acima de 4 m/s com velocidade de pico em torno de 8 m/s (Figura 4c). Além disso, a velocidade média do vento em Guanambi ficou acima da velocidade do município de Patos, nos meses de março e abril, e acima de Parnaíba nos meses de abril a julho. Dessa maneira, é possível notar a sazonalidade da velocidade do vento, em que foram identificados valores máximos de velocidade do vento no segundo semestre do ano (inverno e primavera), que compreende a estação seca da região NEB com menores índices pluviométricos, assim como foi observado por CARNEIRO (2015). E por outro lado, os menores valores de velocidade do vento foram observados no primeiro semestre, que corresponde ao período chuvoso da região NEB, como foi notado nos resultados de NASCIMENTO et al. (2019).

Nota-se que a velocidade do vento a 10 metros de altura oriunda dos produtos de reanálises, foi superestimada em relação a velocidade do vento observada nas estações do INMET. Uma possível limitação da comparação direta entre os produtos das reanálises e os dados observados, está no fato de que os dados medidos são instantâneos (SIEFERT et al., 2022). Por outro lado, os valores de reanálises apresentam a média da variável em um intervalo de tempo, ou seja, essa condição impacta diretamente a comparação dos valores mínimos e

máximos observados e estimados pelos produtos de reanálises (ROSE, 2016).

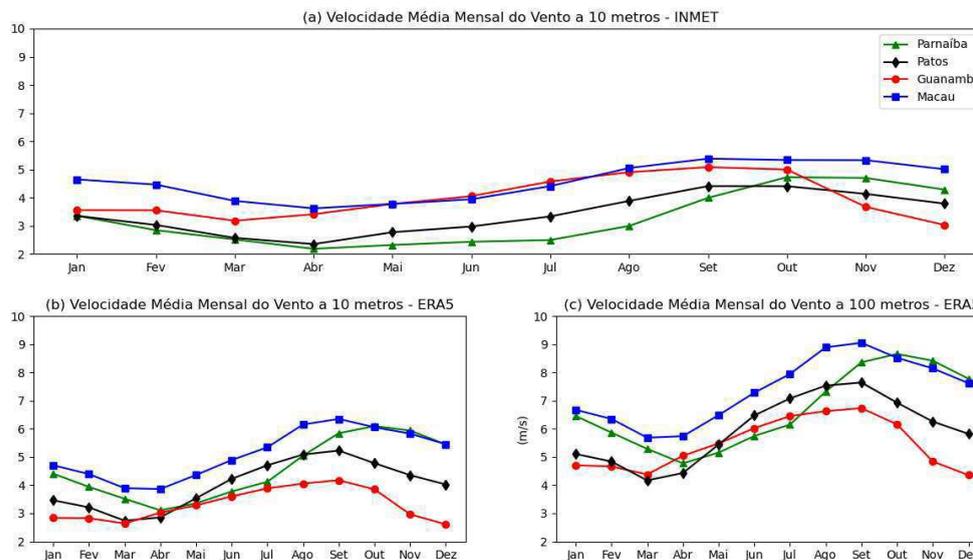


Figura 4: ciclo mensal da velocidade média do vento a 10 metros a 100 metros de altura para os municípios de Guanambi (vermelho), Patos (preto), Parnaíba (verde) e Macau (azul), no período de 2010 a 2020.

A figura 5 representa o histograma da velocidade do vento (m/s) a 10 metros de altura com a curva da distribuição de Weibull para os municípios de (a) Macau, (b) Patos, (c) Guanambi e (d) Parnaíba, no período de 2010 a 2020. Para ambas regiões, o padrão da distribuição de Weibull foi semelhante. Em Macau (Figura 5a) a curva da distribuição de Weibull se mostrou bem ajustada aos valores observados, indicando uma probabilidade maior de velocidades do vento em torno de 5 m/s. Também foram registradas velocidades de vento superiores a 8 m/s, embora possuam uma menor frequência de ocorrência. Para o município de Patos (Figura 5b), a maior frequência foi para velocidades do vento em torno de 4 m/s, e a distribuição de Weibull se ajustou com o padrão de vento do município.

A Figura 5c apresenta a distribuição de Weibull da velocidade do vento (m/s) horária em Guanambi no período de 2010 a 2020. Através desta figura, pode-se observar que velocidades do vento em torno de 3 e 4 m/s foram mais frequentes no município, representado pelo gráfico deslocado para esquerda, e o modelo da distribuição de Weibull representou esse padrão da velocidade do vento em Guanambi. A Figura 5d apresenta a distribuição de Weibull da velocidade do vento (m/s) em Parnaíba no período de 2010 a 2020. Nota-se que a velocidade do vento em Parnaíba apresentou velocidades de vento superiores ou igual a 8 m/s, com uma

frequência maior que os outros municípios. Por outro lado, a distribuição de Weibull se assemelhou ao padrão de velocidade do vento em Parnaíba, com valores entre 3 e 4 m/s apresentando a maior frequência.

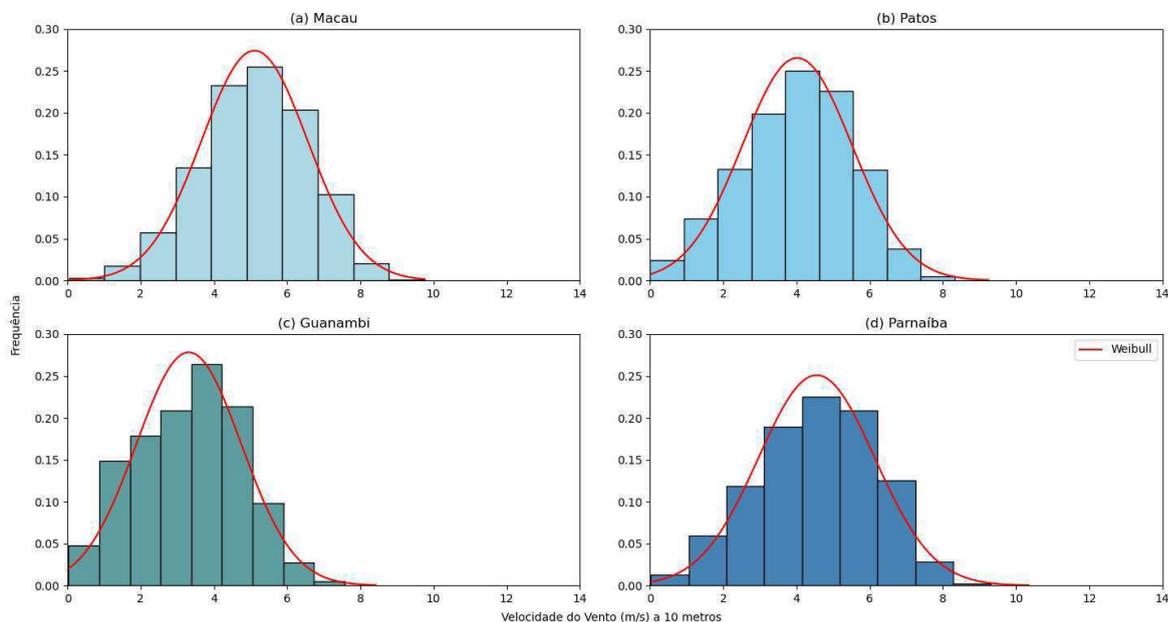


Figura 5: histograma da velocidade do vento (m/s) a 10 metros de altura com a curva da distribuição de Weibull para os municípios de (a) Macau, (b) Patos, (c) Guanambi e (d) Parnaíba, no período de 2010 a 2020.

A figura 6 representa o histograma da velocidade do vento (m/s) a 100 metros de altura com a curva da distribuição de Weibull para os municípios de (a) Macau, (b) Patos, (c) Guanambi e (d) Parnaíba, no período de 2010 a 2020. No município de Macau (Figura 6a), a maior frequência observada foi de velocidade do vento em torno de 8 m/s, sendo uma frequência relativamente menor em comparação com a velocidade do vento a 10 metros de altura, e embora seja dados oriundos de reanálises, a distribuição se adequa ao padrão da velocidade do vento. Para o município de Patos (Figura 6b), o padrão foi semelhante ao de Macau e a distribuição de Weibull moldou a velocidade do vento, apresentando uma frequência maior de valores entre 4 e 5 m/s.

Por outro lado, a distribuição de Weibull aplicada a velocidade do vento no município de Guanambi (Figura 6c), apresentou menores frequências de velocidades entre 2 e 4 m/s em comparação com da estação do INMET, além de apresentar o mesmo padrão da velocidade a 10 metros de altura com o gráfico deslocado para a esquerda, com menores valores de velocidade do vento. Em Parnaíba (Figura 6d), nota-se que a velocidade do vento que apresentou a maior frequência foi em torno de 6 e 7 m/s, e a distribuição de Weibull.

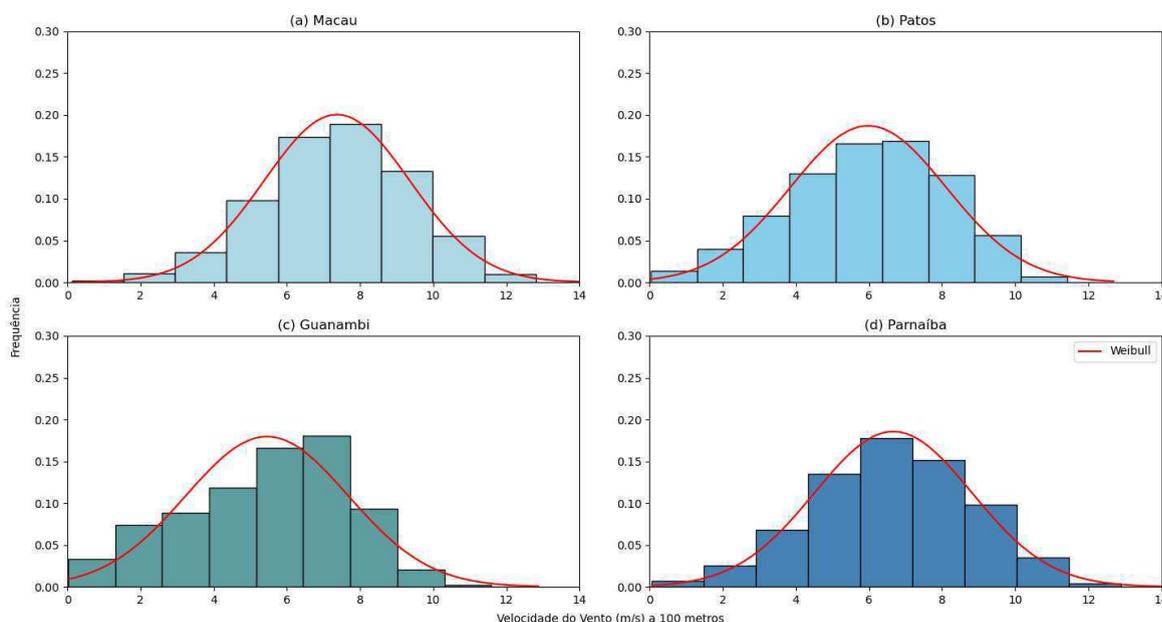


Figura 6: histograma da velocidade do vento (m/s) a 100 metros de altura com a curva da distribuição de Weibull para os municípios de (a) Macau, (b) Patos, (c) Guanambi e (d) Parnaíba, no período de 2010 a 2020.

6. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, foi possível observar as métricas estatísticas, o ciclo diurno da velocidade do vento nos municípios do NEB, o ciclo mensal e a distribuição de Weibull aplicada à velocidade do vento. O maior valor de velocidade média do vento foi observada no município de Macau, com 5,38 m/s a 10 metros de altura, em contraste com o município de Patos que apresentou a menor velocidade média do vento, com 4,40 m/s a 10 metros de altura. A partir dessas métricas estatísticas foi possível o desvio padrão, variância, mediano, máximo e mínimo da variável de velocidade do vento nas cidades de Macau, Parnaíba, Patos e Guanambi.

Além disso, por meio da análise da velocidade média anual do vento, nota-se que a 100 metros de altura, com base nos dados de reanálise do ERA5, os ventos apresentam maior velocidade principalmente no litoral norte do NEB, próximo do município de Macau, com uma média de 8 m/s. A 10 metros de altura, os valores de velocidade do vento foram menores, mas o município de Macau também se destacou por sua maior média anual, em comparação com os outros municípios. Em Guanambi (vermelho), a média a 10 m ficou em torno de 3 m/s, enquanto a 100 m, se aproximou de 5 m/s. Vale ressaltar que o município de Guanambi está a 525 m de altitude, e essas áreas de elevações tendem a apresentar velocidades médias altas, com uma

ênfase em condições locais de relevo que controlam o escoamento atmosférico.

Por meio do boxplot da velocidade média horária do vento a 10 metros de altura, foi possível observar informações com dispersão e assimetria da variável nos municípios em questão. Notou-se que a velocidade média do vento começou a se intensificar a partir das 11h em todos os municípios, e além disso, em Macau, o vento apresentou uma característica crescente no período da tarde com pico no final da tarde. Durante o período de estudo, de 2010 a 2020, a velocidade máxima de vento observada foi de 13,6 m/s a 10 metros de altura, com uma média de 5 m/s às 17h.

Diante dos resultados da análise do ciclo mensal da velocidade média do vento nas estações do INMET, foi observado que os maiores valores durante o ano se concentraram no segundo semestre do ano (agosto a dezembro), e por outro lado, os menores valores foram observados entre março e julho. A velocidade do vento proveniente das reanálises do ERA5 superestimou os valores em comparação com os dados do INMET a 10 metros de altura. Não foi possível coletar dados observados a 100 metros de altura, e por isso foi utilizado os dados de reanálise das componentes U e V, e posteriormente calculada a velocidade do vento a 100 metros de altura. O município de Macau apresentou a maior velocidade do vento no mês de setembro em todos os resultados da análise da velocidade média mensal do vento, a 10 e 100 metros de altura. Dessa maneira, analisar a sazonalidade da velocidade do vento e os sistemas meteorológicos que influenciam esta variável, são essenciais para garantir o melhor aproveitamento e conseqüentemente contribuir para a geração de energia eólica na região.

Além disso, a distribuição de Weibull fornece uma perspectiva do comportamento e escala da velocidade do vento, sendo essencial para avaliar a distribuição de frequência da velocidade do vento. A distribuição de Weibull aplicada a velocidade do vento a 10 metros, representou de maneira positiva a velocidade do vento nos municípios em todos os municípios, com maior frequência de velocidade do vento de 5 m/s em Macau, 4 m/s em Patos e Parnaíba, e 3 m/s em Guanambi. A partir do histograma da velocidade do vento a 100 metros de altura com a curva da distribuição de Weibull, foi observada maior frequência de valores em torno de 8 m/s, e embora seja dados provenientes de reanálises, a distribuição se adequou ao padrão da velocidade do vento. Em Guanambi, apresentou menores frequências de velocidades entre 2 e 4 m/s em comparação com a estação do INMET, além de apresentar o mesmo padrão da velocidade a 10 metros de altura com o gráfico deslocado para a esquerda, com menores valores de velocidade do vento.

Por fim, a partir dos resultados obtidos nesses estudos, a modelagem a partir da

distribuição de Weibull demonstrou ser uma ferramenta viável para análise e prospecção de potenciais parques eólicos. Entretanto, vale ressaltar que o resultado do presente trabalho não tem propensão preliminar do ponto de vista da instalação de aerogeradores, pois outros fatores que não foram analisados neste estudo, como topologia da região, direção e rajada de ventos, podem influenciar diretamente na determinação do potencial eólico de determinada região. Diante dessa perspectiva, seria necessário efetuar a caracterização mais detalhada das regiões promissoras de Macau, Parnaíba, Patos e Guanambi, através de medições de velocidade e direção do vento em diferentes alturas, e também do uso de modelos para assim estimar o potencial eólico da região.

7. REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K. C., ROUHOLAHNEJAD, E., VAGHEFI, S., SRINIVASAN, R., YANG, H., E KLØVE, B. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. **Journal of Hydrology**, v. 524, p. 733–752, 2015.

ABBASPOUR, KARIM C. SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs- A User Manual. **Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology**, v. 100, 2015.

ABEEólica. Boletim Anual de Geração Eólica: 2019. **Associação Brasileira de Energia Eólica**, 2020.

ABEEólica. Boletim anual de Geração Eólica: 2020. **Associação Brasileira de Energia Eólica**, 2021.

RN TEM POTENCIAL EÓLICO DUAS VEZES MAIOR QUE O ESTIMADO EM 2003. **ABEEólica**, São Paulo, 21 de dez. de 2022. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/rn-tem-potencial-eolico-duas-vezes-maior-que-o-estimado-em-2003/>>. Acesso em: 05 de jan. de 2023

ABILD, J.; ANDERSEN, E.Y.; ROSBJERG, D. The climate of extreme winds at the Great Belt of Denmark. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v.41, p.521-532, 1992.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; SOMBRA, S. S.; BARBOSA, A. C. B.; SANTOS, A. C. S.; LIRA, M. A. T. Eventos Extremos Diários de Chuva no Nordeste do Brasil e Características Atmosféricas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 227-233, 2017.

AMINI, M.A.; TORKAN, G.; ESLAMIAN, S.; ZAREIAN, M.J.; ADAMOWSKI, J.F. Analysis of deterministic and geostatistical interpolation techniques for mapping meteorological variables

at large watershed scales. **Acta Geophysica**, v. 67, n. 1, p. 191-203, 2019.

ANEEL, 2017: Generation Information Bank. Acesso em 15 de Junho de 2023. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/>>.

ARSLAN, T., BULUT, Y. M., e ALTIN YAVUZ, A. Comparative study of numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, p. 820–825, 2014.

BARRETO, B. A. Estudo do ciclo diário do vento à superfície no Nordeste do Brasil. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia)** – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2001.

BAR-LEV, S. K.; BOUKAI, B.; ENIS, P. On the mean squared error, the mean absolute error and the like. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 28, n.8, p. 1813–1822, 1999.

BECK, A. T.; CORRÊA, M. R. S. New design chart for basic wind speeds in Brazil. **Latin American Journal of Solids and Structures**, v. 10, n. 4, p. 707-723, 2013.

BOTON, D.; FONSECA, R. C.; MOTA, L. L.; SILVA, W. C.; SOUZA, A. P. Characterization of Speed And Direction Wind Predominant in the Region of Sinop, Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, v. 3, p. 49–54, 2013.

BOOTH, J. F.; RIEDER, H. E.; LEE, D. E.; KUSHNIR, Y. The paths of extratropical cyclones associated with wintertime high-wind events in the northeastern United States. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 54, p. 1871–1885, 2015.

BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 62–71, 2017.

BRANNSTROM, C.; SEGHEZZO, L.; GORAYEB, A. *In*: PESSOA, Z. S.; MACEDO, L. D.; TEIXEIRA, R. L. P.; HOFSTAETTER, M.; SANTOS, Y. C.; CARVALHO, E. F.; MELO, E. A. O. Descarbonização na América do Sul: Conexões entre o Brasil e a Argentina, Mossoró, RN: **Edições UERN**, p. 329-353, 2020.

BRITO, T.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; LYRA, G.; ZERI, M. Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. **Meteorology Atmosphere Physics**, v. 129, n. 1, p. 469–478, 2017.

BRITO, L. S. Análise do Vento sobre o Nordeste do Brasil na reanálise centenária ERA-20C: Variabilidade Interanual e Extremos. **Dissertação (Mestrado)** – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. A.; KLEIN, A. H. F. Beach morphology and Coastline Erosion Associated with Storm Surge in Southern Brazil- Rio Grande to Chuí, RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 70, 231–247, 1998.

CALLIARI, L. J.; TOZZI, H. A.; KLEIN, A. H. F. Beach morphology and Coastline Erosion Associated with Storm Surge in Southern Brazil- Rio Grande to Chuí, RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 231–247, 1998.

CAMPOS, B.; REBOITA, M.; CARVALHO, V. Circulações Locais Induzidas pela Topografia no Vale do Paraíba e na Serra da Mantiqueira: Um estudo de caso para o período entre os dias 16 e 22 de agosto de 2010. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 9, n. 3, p. 753–765, 2016.

CARNEIRO, T. C.; CARVALHO, P. C. M. Caracterização de potencial eólico: estudo de caso para Maracanaú (CE), Petrolina (PE) e Parnaíba (PI). **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2015.

CARVALHO, D.; Rocha, A.; GOMEZ-GESTEIRA, M.; SANTOS, C. A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. **Environmental Modelling Software**, v. 33, p. 23-34, 2012.

CARVALHO, G. F. Análise de sensibilidade do modelo WRF a diferentes configurações de regionalização dinâmica para modelagem da velocidade do vento. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)**, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2015.

CASTILLO, E. Extreme value theory in engineering. San Diego: **Academic Press**, 388p, 1988.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R.; FILHO, J. B. C. Variabilidade da Velocidade do Vento e Influências Oceânicas: Uma Abordagem Para Fins de Geração de Energia Elétrica no Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 1, p. 273-285, 2020.

CAVALCANTI, I. F. A. **Tempo e Clima no Brasil**. In: _____. Clima da região Nordeste do Brasil. 1ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geoscientific Model Development**, v. 7, n. 3, p. 1247–1250, 2014.

CHADEE, X. T.; CLARKE, R. M. Large-scale wind energy potential of the Caribbean region using near-surface reanalysis data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 45–58, 2014.

CHENG, L; AGHAKOUCHAK, A.; GILLELAND, E.; KATZ, R. W. Non-stationary extreme value analysis in a changing climate. **Climate Change**, v. 127, n. 2, p. 353-369, 2014.

COLES, S. Springer Series in Statistics: An introduction to statistical modeling of extreme values. **Springer**, London, 2001.

COSTA, G. B.; LYRA, R. F. F. Análise dos padrões de vento no Estado de Alagoas. **Revista Brasileiro de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 31-38, 2012.

COSTA, P. C. S. Tendências e ciclos médios da velocidade do vento e complementaridade energética em regiões próximas a empreendimentos eólicos no Nordeste do Brasil. **Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas)**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística**, 2ª ed. - Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003 116p. Disponível em <
http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/LIVROS/LIVROS/livro_probabilidade_estatistica_2a_ed.pdf>. Acesso em 05 abr. 2023.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SOUZA, P. H. A.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; TERASSI, P. M. B.; GOIS, G.; SILVA JUNIOR, C. A.; PIMENTEL, L. C. G. Investigating the Characteristics and Predictability of Measured Wind Speed Data Over Rio de Janeiro, Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, v. 178, n. 6, p. 2333–2355, 2021.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S): dados horários ERA5 em níveis únicos de 1940 até o presente. **Serviço Copernicus para as Alterações Climáticas (C3S)** Armazenamento de Dados Climáticos (CDS), 2017. Acesso em: 02 mai. 2023.

CUNHA, E. B. A. C. Investigação do Potencial Eólico de Região Serrana no Ceará. **Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas)**-Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2008.

Dallacort, R.; Moreira, P. S. P.; Inoue, M. H.; Silva, D. J.; Carvalho, I. F.; Santos, C. Wind speed and direction characterization in Tangará da Serra, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 359-364, 2010.

DURKEE, J. D.; FUHRMANN, C. M.; KNOX, J. A.; FRYE, J. D. Ageostrophic contributions to a non-convective high-wind event in the Great Lakes region. **National Weather Digest**, v. 36, p. 27–41, 2012.

EASTERLING, W. E.; AGGARWAL, P. K.; BATIMA, P.; BRANDER, K. M.; ERDA, L.; HOWDEN, S. M.; KIRILENKO, A.; MORTON, J.; SOUSSANA, J. F.; SCHMIDHUBER, J.;

EDENHOFER, O.; PICHS, R. M.; SOKONA, Y.; SEYBOTH, K.; MATSCHOSS, P. Summary for policymakers: Ipcc special report on renewable energy sources and climate change mitigation. In: Tech. Rep., working group III of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK: **Cambridge University Press**; 2011.

ELY, D. F.; PEREIRA, L. M. P. Contribuição para o estudo do regime dos ventos no estado do Paraná, **GEOGRAFIA**, v. 36, n. 3, p. 589-607, 2011.

FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; CRUZ, C. D. On Frontal Zone Analysis in the Tropical Region of the Northeast Brazil. **Pure and Applied Geophysics**, v. 4, p. 1403-1421, 2016.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 9-23, 2005.

FERREIRA, M. D. M. Estudo da velocidade do vento através de Downscaling dinâmico em alta resolução sobre terreno complexo no Nordeste do Brasil. **Dissertação (Mestrado em Ciências**

Climáticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

FIERN. Parques eólicos no RN, na Bahia e no Piauí alavancam expansão da matriz elétrica brasileira. **FIERN**, Natal, 05 de jan. De 2023. Disponível em: <<https://www.fiern.org.br/parques-eolicos-no-rn-na-bahia-e-no-piaui-alavancam-expansao-da-matriz-eletrica-brasileira/>>. Acesso em: 06 de jan. De 2023.

FISHER, R. A.; TIPPETT, L. H. C. Limiting forms of the frequency distributions of the largest or smallest member of a sample. **Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, v. 24, p. 180-190, 1928.

FOX, N. I. A tall tower study of Missouri winds. **Renewable Energy**, v. 36, n. 1, p. 330-337, 2011.

FRANCHITO, S. H.; ODA, T. O.; RAO, V. B.; KAYANO, M. T. Interaction between coastal upwelling and local winds at Cabo Frio, Brazil: an observational study. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 6, p. 1590–1598, 2008.

FRÉCHET, M. Sur la loi de probabilité de l'écart maximum. **Annales De La Société Polonaise De Mathématique**, v. 6, n. 32, p. 93-116, 1927.

GALVANI, E; KLOSOWSKI, E. S; CUNHA, A. R., MARTINS, D. Caracterização da direção predominante do vento em Maringá, PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p. 81-90, 1999.

GILLILAND, J. M.; KEIM, B. D. Surface wind speed: trend and climatology of Brazil from 1980–2014. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 1060-1073, 2018.

GILLILAND, J. M.; BLACK, A. W.; DURKEE, J. D.; MURLEY, V. A. A climatology of high-wind events for the eastern United States. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 2, p. 723-738, 2019.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). Disponível em: <<https://gwec.net/global-wind-report-2022/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009.

GOMES, H. B.; AMBRIZZI, T.; PONTES DA SILVA, B. F.; HODGES, K.; SILVA, P. L. D; HERDIES, D. L.; SILVA, M. C. L.; GOMES, H. B. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 53, n. 6, p. 1393-1411, 2019.

GOMES, H. B.; AMBRIZZI, T; HERDIES, D.; HODGES, K.; SILVA, B. P. Easterly Wave Disturbances over Northeast Brazil: An Observational Analysis. **Advances in Meteorology**, v. 2015, n. 1, p. 1-20, 2015.

GONÇALVES, S.; RODRIGUES, T. P.; CHAGAS, A. L. S. The impact of wind power on the Brazilian labor market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 128, p. 109887, 2020.

GUARIENTI, J. A.; KAUFMANN, A. A.; MENEGATI, N. A.; OLIVEIRA, F.; OTTONELLI, J.

P.; KAUFMANN, A. I. Performance analysis of numerical methods for determining Weibull distribution parameters applied to wind speed in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 42, p. 100854, 2020.

Gualtieri, G. Reliability of ERA5 Reanalysis Data for Wind Resource Assessment: A Comparison against Tall Towers. **Energies**, v. 14, n. 14, p. 4169, 2021.

GUMBEL, E. J. Les intervalles entre les émissions radioactives. **Journal de Physique et Le Radium**, v. 8, n. 11, p. 446-452, 1937a.

GUMBEL, E. J. La durée extreme de l avie humanie. **Actualités Scientifique et Industrielles**, v. 520, 1937b.

GWEC. Global Wind Report. **Global Wind Energy Council**, 2021.

GUMBEL, E. J. The statistical forecast of Floods. **Ohio Water Resources Board**, v. 15, p. 1-21, 1948.

HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A.; PHILLIPS, T. J. Changes in concurrent monthly precipitation and temperature extremes. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 8, p. 1748-9326, 2013.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; BIAVATI, G.; HORÁNYI, A.; MUÑOZ SABATER, J.; NICOLAS, J.; PEUBEY, C.; RADU, R.; ROZUM, I.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A.; SOCI, C.; DEE, D.; THÉPAUT, J. N. Dados horários ERA5 em níveis únicos de 1940 até o presente. Serviço Copernicus para as Alterações Climáticas (C3S) Armazenamento de Dados Climáticos (CDS), 2018. Acesso em: 02 mai. 2023.

HERSBACH, H.; BELL, W.; BERRISFORD, P.; HORÁNYI, A.; SABATER, J.M.; NICOLAS, J.; RADU, R.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A.; SOCI, C.; DEE, D. Global reanalysis: Goodbye ERA-Interim, hello ERA5. **ECMWF Newsletter**, v. 159, p. 17–24, 2019

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; HIRAHARA, S.; HORÁNYI, A.; MUÑOZ-SABATER, J.; NICOLAS, J.; PEUBEY, C.; RADU, R.; SCHEPERS, D.; et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, p. 1999–2049, 2020.

HOLTON, J. R. An introduction to dynamic meteorology. **Elsevier Academic Press**, Burlington, MA, p. 534, 2004.

HOSKING, J. R. M. Algoritm AS 215: Maximum-likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme-value distribution. **Journal of the Royal Statistical Society Applied Statistics**, v. 34, p. 301-310, 1985.

HOSKING, J. R. M. Fortran routines for use with the method of L-moments, Version 3. Research Report RC20525, **IBM Research Division**, Yorktown Heights, N.Y, 1996.

HOSKING, J. R. M. L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. **Journal of the Royal Statistical Society**, Series B, 52, p. 105-124, 1990.

IEA. **Renewables Information: Overview.** Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/renewables-information>>. Acesso em: 03 nov. 2022.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil.** Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 27 jul. 2022.

JACONDINO, W. D.; NASCIMENTO, A. L.; CALVETTI, L.; BENETI, C. Análise Estatística do Vento em Dois Parques Eólicos no Rio Grande do Norte. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 230–244, 2019.

JACOVIDES, C. P.; KONTOYIANNIS, H. Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. **Agricultural Water Management**, v. 27, n. 3-4, p. 365–371, 1995.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 81, p. 158-171, 1955.

JIANG, YIANG ET AL. Changes in wind speed over China during 1956–2004. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, n. 3-4, p. 421–430, 2010.

JOHNSON, N. L.; KOTZ, S.; BALAKRISHNAN, N. **Continuous Univariate Distributions**. In: _____. Weibull Distributions. 2^a ed. New York: John Wiley e Sons, 1994, p. 642-694.

KALDELLIS, J. K., ZAFIRAKIS, D. The wind energy (r)evolution: a short review of a long history. **Renewable Energy**, v. 36, n. 7, p. 1887–1901, 2011.

KATZ, R.; PARLANGE, M. B.; NAVEAU, P. Statistics of extremes in hydrology. **Advances in Water Resources**, v. 25, n. 8-12, p. 1287-1304, 2002.

KENNEDY, J. B.; NEVILLE, A. M. Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists. 3rd Edition, **Harper and Row**, New York, 1986.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. **Gotha: Verlag Justus Perthes**. Wall-map 150 x 200cm. 1928.

KOUSKY, V. E. Diurnal Rainfall Variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980.

LEÃO, Z. M. N.; DOMINGUEZ, J. M. L. Tropical Coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 41, n. 1, p. 112-122, 2000.

LETSON, F.; PRYOR, S. C.; BARTHELMIE, R. J.; HU, W. Observed gust wind speeds in the coterminous United States, and their relationship to local and regional drivers. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 173, p. 199–209, 2018.

LEUNG, D. Y. C., YANG, Y. Wind energy development and its environmental impact: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 1031–1039, 2012.

LIMA LEITE, M.; VIRGENS FILHO, J. S. Avaliação da velocidade média e direção predominante do vento em Ponta Grossa-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2, p. 157-167, 2006.

LIMA, F. J. L.; AMANAJÁS, J. C.; GUEDES, R. V. S.; SILVA, E. M. Análises de Componente Principal e de Agrupamento para estudo de ventos para a geração de energia eólica na região do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. **Ambi-Água**, v. 5, n. 2, p. 188-201, 2010.

LIMA, F.J.L.; CAVALCANTI, E.P.; SOUZA, E.P.; SILVA, E.M. Evaluation of the wind power in the State of Paraíba using the mesoscale atmospheric model Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System. **ISRN Renewable Energy**, v. 2012, n. 2012, p. 1-16, 2012.

LIRA, M. A. T.; SILVA, E. M.; ALVES, J. M. B.; VERAS, G. V. O. Estimation of wind resources in the coast of Ceará, Brazil, using the linear regression theory. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 509–529, 2014.

LOPES, R. F. C. Efeitos da TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico tropicais sobre o evento no Estado da Paraíba. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia)**, Universidade Federal de Campina Grande, 2022.

LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R.; DUTRA, R. M. The vulnerability of wind power to climate change in Brazil. **Renewable Energy**, v. 35, n. 5, p. 904–912, 2010.

LUCENA, J. A. Y., LUCENA, K. Â. A. Wind energy in Brazil: an overview and perspectives under the triple bottom line. **Clean Energy**, v. 3, p. 1-16, 2019.

MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J. Synoptic Systems Generators of Extreme Wind in Southern Brazil: Atmospheric Conditions and Consequences in the Coastal Zone. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. Sp1, p. 1182–1186, 2016.

MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J. Synoptic Systems Generators of Extreme Wind in Southern Brazil: Atmospheric Conditions and Consequences in the Coastal Zone. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 1182–1186, 2016.

MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J.; MELO, E.; KLEIN, A. H. F. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 277–286, 2010.

MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J.; MELO, E.; KLEIN, A. H. F. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, p. 277–286, 2010.

MAHFOUF, J. F.; RICHARD, E.; MASCART, P. The influence of soil and vegetation on the development of mesoscale circulations. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 26, p. 1483-1553, 1987.

MARIA, P. H. S. Modelagem numérica em alta resolução para previsão de geração de energia eólica no Ceará. 123f. **Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas)** – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.

MARIANO, E. B.; CAVALCANTI, E. P.; BESERRA, E. A. Análise Comparativa da Velocidade do Vento Simulado Pelo BRAMS com Dados Observados e de Reanálises. **Revista Brasileira De Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 269–276, 2017.

MCKEEN, S. A.; WILCZAK, J.; GRELL, G.; DJALALOVA, I.; PECKHAM, S.; HSIE, E.; GONG, W.; BOUCHET, V.; MENARD, S.; MOFFET, R.; MCHENRY, J.; MCQUEEN, J.; TANG, Y.; CARMICHAEL, G. R.; PAGOWSKI, M.; CHAN, A.; DYE, T.; FROST, G.; LEE, P.; MATHUR, R. Assessment of an ensemble of seven realtime ozone forecasts over eastern North America during the summer of 2004. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. D21, p. 0148-0227, 2005.

MEDEIROS, S. E. L. et al. Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 184, 2021.

MELO, E. C. S.; ARAGÃO, M. R. S. CORREIA, M. F. Regimes Do Vento à Superfície Na área De Petrolina, Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, 2014.

MENDONÇA, F., DANI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo – SP: Oficina de textos, 2007.

MONTEIRO, M. A. Dinâmica atmosférica e caracterização dos tipos de tempo na bacia hidrográfica do rio Araranguá. **Tese (Doutorado em Geografia)** – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis-SC. 223 f., 2007.

MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **Secretaria da Agricultura**, 1961.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **American Meteorological Society**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.

MUNHOZ, F. C., e GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n.1, p. 30–34, 2008.

MUNHOZ, F. C.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 1, p. 30-34, 2008.

NASCIMENTO, K. K. F.; SANTOS, F. S.; GOMES, D. A.; JALE, S. J.; LEITE, R. S.; STOSIC, T.; FERREIRA, T. A. E. Modelagem multifractal da velocidade horária do vento no município de Patos, Paraíba. **Sigmae**, v. 8, n. 2, p. 238-247, 2019.

NIMER, E. **Clima**. In: Geografia do Brasil: Região Sul. Série Recursos Naturais e Meio Ambiente. n.º 4, Rio de Janeiro: IBGE, p. 151-187, 1979.

NIZIOL, T. A.; PAONE, T. J. A. climatology of non-convective high wind events in western New York state. **NOAA Technical Memorandum**, v. NWS ER-1, p. 44, 2000.

OLIVEIRA, A. P.; BORNSTEIN, R. D.; SOARES, J. Annual and diurnal wind patterns in the city of São Paulo. **Water, Air, and Soil Pollution: Focus**, v. 3, p. 3–15, 2003.

OLIVEIRA PINTO, M. **Fundamentos de Energia Eólica**. In: _____. O Vento. 1ªed. Rio de Janeiro: LTC, 2014, p. 49-66.

OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. A. Estudo de variabilidade do vento em escala sazonal sobre o Nordeste Brasileiro utilizando o RAMS: os casos de 1973-1974 e 1982-1983. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 53-66, 2011.

OLIVEIRA, J. P. B. Séries sintéticas de precipitação para estimar a erosividade das chuvas. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2014.

OLIVEIRA, P.T.; SANTOS E SILVA, C.M.; LIMA, K.C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical Apply Climatology**, v. 130, n. 1, p. 77–90, 2017.

OLIVEIRA, T. J. Statistical choice of univariate extreme models. **Statistical Distributions in Scientific Work**, v. 6, p. 367-387, 1981.

Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ORTOLANI, A. A. Agroclimatologia e o cultivo da seringueira. In: **SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO**, 1., Piracicaba. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.11-32, 1986.

PELLEGRINI, C. C.; ARAUJO, C. C. S.; REIS, A.; PIMENTA, F. M.; ASSIREU, A. T. Análise do Desempenho do Modelo WRF num Episódio de Vento Intenso e Persistente num Grande Reservatório Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 121-138, 2019.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; PES, M. P.; SEGUNDO, E. I. D.; LYRA, A. D. The impacts of global climate changes on the wind power density in Brazil. **Renewable Energy**, v. 49, p. 107–110, 2013.

PES, M. P.; PEREIRA, E. B.; MARENGO, J. A.; MARTINS, F. R., HEINEMAN, D.; SCHMIDT, M. Climate trends on the extreme winds in Brazil. **Renewable Energy**, v. 109, p. 110–120, 2017.

PES, M. P.; PEREIRA, E. B.; MARENGO, J. A.; MARTINS, F. R.; HEINEMANN, D.; SCHMIDT, M. Climate trends on the extreme winds in Brazil. **Renewable Energy**, v. 104, n. 16, p. 960-1481, 2016.

PIMENTA, F. M.; SAAVEDRA, O. R.; OLIVEIRA, D. Q.; ASSIREU, A. T.; TORRES, A. R. J.; FREITAS, R. M.; NETO, F. L. A.; LOPES, D. C. P.; OLIVEIRA, C. B. M.; LIMA, S. L.; NETO, J. C. O.; VERAS, R. B. S. Characterization of Wind Resources of the East Coast of Maranhão, Brazil. **Energies**, v. 16, n. 14, p.5555.

PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 6, p. 1082-1100, 2017.

PIRAZZOLI, P. A., TOMASIN, A. “Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas,” **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 8, p. 963–973, 2003.

PREFEITURA DE MACAU. Disponível em: < <https://macau.rn.gov.br/>>. Acesso em: 27 jul. 2022.

PRYOR, S. C., SCHOOF, J. T., BARTHELMIE, R. J. “Winds of change?: projections of near-surface winds under climate change scenarios”. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 11, 2006.

QUEIROZ, E. H. M. Turbinas eólicas: evolução da análise aerodinâmica e desafios encontrados. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica)**, Universidade Federal de Uberlândia, 2020.

RAMOS, H. M. Projeções regionais em alta resolução: tendências no vento e potencial eólico do Nordeste do Brasil. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia)** – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

RAO, V. B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, n. 9, p. 1754-1763, 1993.

RASMUSSEN, E. M.; CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Monthly Weather Review**, v. 110, p. 354-384, 1982.

RAYNAL, J. A. Sobre el uso del dominio de atracción para la identificación de valores extremos para máximos. **Ingeniería Hidráulica en México**, v. 12, p. 57-62, 1997.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. (dentro do Ramos 2021)

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 29, 1997.

REBOITA, M. S.; ROCHA, R.; AMBRIZZI, T.; SUGAHARA, S. South Atlantic Ocean cyclogenesis climatology simulated by regional climate model (RegCM3). **Climate Dynamics**, v. 35, p. 1331-1347, 2010.

REBOITA, M. S.; AMARO, T. R.; SOUZA, M. R. Winds: Intensity and power density simulated by RegCM4 over South America in present and future climate. **Climate Dynamics**, v. 51, n. 1-2, p. 187-205, 2017.

REIS, E. D.; SANTOS, P. H. C.; CARVALHO, H.; VASCONCELOS, J. A.; ADRIANO, R. L. S. Methodology for determining the basic wind speed applied to the design of overhead transmission lines. In: XL CILAMCE - Ibero-Latin American **Congress on Computational Methods in Engineering**, Natal, 2019.

ROCHA, P. A.; SOUSA, R.; ANDRADE, C. F.; SILVA, M. E. Comparison of seven numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy generation in the northeast region

of Brazil. **Applied Energy**, v. 89, n. 1, p. 395-400, 2012.

ROSE, S.; APT, J. Quantifying sources of uncertainty in reanalysis derived wind speed. **Renewable Energy**, v. 94, p. 157-165, 2016.

SANTANA, L. V. R. Análise do comportamento da velocidade do vento na região nordeste do Brasil utilizando dados da ERA-40. **Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada)**, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

SANTANA, L. V. R.; STOSIC, T.; FERREIRA, T. A. E.; SILVA, A. S. A. Analysis of the regularity of wind velocity in Northeast Brazil through Sample Entropy. **Research Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-17, 2020.

SANT'ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do Sudeste brasileiro. **Revista Brasileira De Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 43–60, 2005.

SANTOS, A. T. S.; SILVA, C. M. S. Seasonality, Interannual Variability, and Linear Tendency of Wind Speeds in the Northeast Brazil from 1986 to 2011. **The Scientific World Journal**, 2013.

SANTOS, J. A. F. A.; JONG, P.; COSTA, C. A.; TORRES, E. A. Combining wind and solar energy sources: Potential for hybrid power generation in Brazil. **Utilities Policy**, v. 67, p. 101084, 2020.

SARAIVA, J. M. B.; BEDRAN, C.; CARNEIRO, C. Monitoring of Storm Surges on Cassino Beach, RS, Brazil. **Journal Of Coastal Research**, v. 35, p. 323–331, 2003.

SAVAGE, N. H.; AGNEW, P.; DAVIS, L. S.; ORDÓÑEZ, C.; THORPE, R.; JOHNSON, C. E.; O'CONNOR, F. M.; DALVI, M. Air quality modelling using the Met Office Unified Model (AQUM OS24-26): model description and initial evaluation. *Geoscientific Model Development*, v. 6, n. 2, p. 353–372, 2013.

SCHMIDT, J.; CANCELLA, R.; JUNIOR, A. O. P. The effect of windpower on long-term variability of combined hydro-wind resources: The case of Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, p. 131-141, 2016.

SIEFERT, C. A. C.; DOMBROWSKI, N. N.; MARANGON, F. H. S.; SCHULTZ, G. B.; SILVA, L. M. D. R.; FONTENELLE, T. H.; SANTOS, I. D. Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 4, p. 689-701, 2022.

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.

SILVA, A. R.; STOSIC, T.; STOSIC, B. Wind speed persistence at the Fernando de Noronha archipelago, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 144, p. 723–730, 2021.,

SILVA, B. B.; ALVES, J. J. A.; CAVALCANTI, E. P.; VENTURA, E. D. Variabilidade espacial e temporal do potencial eólico da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 2, p. 189-202, 2004.

SILVA, J. K. A. Caracterização do vento e estimativa do potencial eólico da região de tabuleiros costeiros. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia)**, Universidade Federal de Alagoas, 2007.

SILVA, K. M. R.; GOMES, H. B.; BARBOSA, H. M. J. Climatologia das brisas marítima e terrestre no Estado de Alagoas. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia)**, Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, 2022.

SILVEIRA, R. B.; ALVES, M. P. A.; MURARA, P. Estudo de caracterização da direção predominante dos ventos no litoral de Santa Catarina. In: **XI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, v. 1, p. 380-392, 2014.

SIMIU, E.; FILLIBEN, J. Probability distribution of extreme wind speeds. **Journal of Structural Engineering**, v.102, p.1861-1877, 1976.

SIMMONDS, I.; KEAY, K.; TRISTRAM BYE, J. A. Identification and Climatology of Southern Hemisphere Mobile Fronts in a Modern Reanalysis. **Journal of Climate**, v. 25, n. 6, p. 1945–1962, 2012.

SOUZA, A de; GRANJA, S. C. Estimativas dos parâmetros “c” e “k” do modelo de WEIBULL e da direção dos ventos para Campo Grande e Dourados, MS, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 109-114, 1997.

SOUZA, D. C.; OYAMA, M. D. Breeze Potential Along the Brazilian Northern and Northeastern Coast. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 9, n. 3, p. 368-378, 2017.

SOUZA, D. C.; OYAMA, M. D. Breeze Potential Along the Brazilian Northern and Northeastern Coast. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 9, n. 3, pp. 368-378, 2017.

SOUZA, N. B. P.; NASCIMENTO, E. G. S.; SANTOS, A. A. B.; MOREIRA, D. M. M. Wind mapping using the mesoscale WRF model in a tropical region of Brazil. **Energy**, v. 240, p.122491, 2022.

SUN, X.; COOK, K. H.; VIZY, E. The South Atlantic Subtropical High: Climatology and Interannual Variability. **Journal of Climate**, v. 30, p. 3279-3296, 2017.

LIRA, M. A. T.; NETO, J. M. M.; SILVA, E. M.; PIRES, B. Quantificação dos Recursos Eólicos no Estado do Piauí através de simulações computacionais. **Ciência e Natura**, v. 38, p. 245-251, 2016.

TEIMOURI, M.; HOSEINI, S. M.; NADARAJAH, S. Comparison of estimation methods for the Weibull distribution. **Statistics**, v. 47, n. 1, p. 93–109, 2013.

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GALVANI, E.; CORREIA FILHO, W. L. F.; GÓIS, G.; SOBRAL, B. S.; BIFFI, V. H. R. Regime de ventos em Curitiba e Paranaguá, Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, n. 15, p. 294-318, 2019.

THOMAS, S. R.; MARTÍNEZ-ALVARADO, O.; BLOOMFIELD, H. Drivers of extreme wind events in Mexico for wind events applications. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. s1, 2020.

TOMASINI, J. Padrão de variabilidade do vento à superfície, em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: implicações ambientais. **Trabalho de Conclusão de Curso** – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.

TRENBERTH, K. E.; SHEA, D. On the evolution of the Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 12, p. 3078-3096, 1987.

TROCCOLI, A., MULLER, K., COPPIN, P., DAVY, R., RUSSELL, C., e HIRSCH, A. L. Long-Term Wind Speed Trends over Australia. **Journal of Climate**, v. 25, n. 1, p. 170–183, 2012.

TROCCOLI, A.; MULLER, K.; COPPIN, P.; DAVY, R.; RUSSELL, C.; HIRSCH, A. Long-term wind speed trends over Australia. **Journal of Climate**, v. 25, n. 1, p. 170–183, 2012.

TUBIELLO, F.N. Food, fibre and forest products. In book: Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter: 5, Publisher: **Cambridge University Press**, Cambridge, UK, Editors: M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson, 273–313, 2007.

TUCHTENHAGEN, P.; CARVALHO, G. G.; MARTINS, G.; SILVA, P. E.; OLIVEIRA, C. P.; ANDRADE, L. M. B.; ARAÚJO, J. M.; MUTTI, P. R.; LÚCIO, P. S.; SANTOS E SILVA, C. M. WRF model assessment for wind intensity and power density simulation in the southern coast of Brazil. *Energy*, v. 190, p. 116341, 2020.

UVO, C. R. B.; BERNDTSSON, R. Regionalization and Spatial Properties of Ceará State Rainfall in Northeast Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D2, p. 4221-4233, 1996.

VAN MONTFORT, M. A. J. On testing that the distribution of extreme is type I When type II is alternative. **Journal of Hydrology**, v. 11, p. 421-427, 1978.

VENDRAMINI, E. Z. Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para avaliação do potencial energético eólico. **Tese (Doutorado em Agronomia)**. Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 1986.

VIAN, A.; TAHAN, C. M. V.; AGUILAR, G. J. R.; GOUVEA, M. R.; GEMIGNANI, M. M. F. **Energia Eólica: Fundamentos Tecnologia e Aplicações**. In: _____. Energia eólica no Brasil e no mundo. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2021.

VOSE, R. S.; EASTERLING, D. R.; GLEASON, B. Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 23, 2005.

WAGNER, S. C.; BERNARDES, L. R. M.; CORREA, A. et al. Estudo da velocidade e direção predominante dos ventos no estado do Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE**

AGROMETEOROLOGIA, 5., Belém, 1987. Anais. Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; CPATU, 1987. p.269-273.

WALSHAW, D. Getting the most from your extreme wind data: a step by step guide. **Journal Resource of National Standard Technology**, v.99, p.399-411, 1994.

Wang, W.; Lu, Y. Analysis of the Mean Absolute Error (MAE) and the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Rounding Model. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 324, n. 1, p. 012049, 2018

WEBER, R. L; BUCKNER, M; WEBER, J. Statistical Performance of severalmesoscale atmospheric dispersion models. **Journal of Applied Meteorology**, NOAA Central Library, Department of Commerce, v. 21, n. 11, 1633-1644, 1982.

WEIBULL, W. A Statistical Theory of the Strength of Materials. **Generalstabens Litografiska Anstalts Förlag**, Stockholm, 1939.

WIZELIUS, T. **Developing Wind Power Projects: Theory and Practice**, 1^a ed, London: Routledge, 2015.