

MARIA CATARINA CAVALCANTI CABRAL

**ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS DA VELOCIDADE DO
VENTO EM OURICURI, PERNAMBUCO, BRASIL**

Recife -PE

Agosto/2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS DA VELOCIDADE DO
VENTO EM OURICURI, PERNAMBUCO, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre em Biometria e Estatística Aplicada.

**Área de Concentração: Modelagem e
Métodos Computacionais**

Orientador: Prof. Dr. Antônio Samuel Alves da
Silva

Coorientador: Prof. Dr. Lucian Bogdan Bejan

Recife -PE

Agosto/2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C117a Cabral, Maria Catarina Cavalcanti
Análise de tendência em séries temporais da velocidade do vento em Ouricuri, Pernambuco, Brasil /
Maria Catarina Cavalcanti Cabral. - 2023.
53 f. : il.
- Orientador: Antonio Samuel Alves da Silva.
Coorientador: Lucian Bogdan Bejan.
Inclui referências e apêndice(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Biometria e Estatística Aplicada, Recife, 2023.
1. Análise de Séries temporais. 2. Análise de Tendências. 3. Teste Mann-Kendall. 4. Sen's Slope. 5.
Velocidade do Vento . I. Silva, Antonio Samuel Alves da, orient. II. Bejan, Lucian Bogdan, coorient. III. Título

CDD 519.5

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS DA VELOCIDADE DO
VENTO EM OURICURI, PERNAMBUCO, BRASIL**

MARIA CATARINA CAVALCANTI CABRAL

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Samuel Alves da Silva

Departamento de Estatística e Informática / UFRPE

Banca Examinadora:

1 _____

Prof.^a Dr.^a Maria Adélia Borstelmann de Oliveira – Examinadora Externa

2 _____

Prof.^a Dr.^a Tatijana Stosic – Examinadora Interna

*Dedico ao meus pais, Agápito (in
memoriam) e Paraguassú,(in memoriam),
pelo amor e apoio incondicionais*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente o meu agradecimento às minhas amadas irmãs, Fátima, Mercês, Margarida, Tereza e Regina com quem sempre pude contar, confiando e me apoiando inteiramente, muito obrigada.

Aos meus pais, que sempre estarão comigo, pelo exemplo de retidão, solidariedade e amor pelo próximo, e, que oxalá eu consiga passar esses valores para minhas filhas.

Às minhas filhas, Julia e Helena, e, seu pai, Claudio Tavares, pela paciência e apoio em momentos decisivos.

Aos meus sobrinhos, especialmente Lucas Cabral, com quem pude contar várias vezes para explicações técnicas, extensivo a todos familiares que sempre se dispuseram a ajudar no que fosse necessário.

Ao IBAMA, instituição forte que incentiva a capacitação permanente de seus servidores, principalmente na pessoa de Lisânia Pedrosa, Michelle Milhomem e Mônica Torres.

Ao Programa de Pós-graduação em Biometria e Estatística Aplicada PPGBEA, pela oportunidade em aprender coisas novas que serão muito uteis na minha vida profissional.

Aos professores Paulo Duarte, coordenador sempre atento às necessidades dos discentes, Claudio Tadeu Cristino, que me recebeu no início do curso, Samuel Antônio Alves da Silva, que aceitou me orientar nessa fase final, e, principalmente a Lucian Bogdan Bejan pela atenção, cuidado e sensibilidade na coorientação desta dissertação. Agradeço também às integrantes da Banca Examinadora, professoras Maria Adélia e Tatijana Stosic, pelas preciosas contribuições ao meu trabalho.

RESUMO

Para verificação da presença de tendências horária, mensal, sazonal e anual da velocidade do vento no período de 2011 a 2022, representativos do município de Ouricuri, onde está localizada a Estação Meteorológica Automática EMA Ouricuri (A366), aplicamos os testes estatísticos não paramétricos de *Mann-kendall* Modificado MMK associado ao estimador de *Sen's Slope*. A escolha da Estação A366 se deu em razão da proximidade com o local previsto para instalação do Parque Eólico D. João que se encontra em fase inicial de Licenciamento Ambiental por parte do IBAMA. No Brasil do ano de 2022, as fontes renováveis de energia elétrica (água, sol e vento), aumentaram sua participação em cerca de 16%, chegando a 87,9% do total. Particularmente, a fonte eólica apresentou um aumento de 12,9%, na geração de energia, e, 14,3% na potência instalada (EPE, 2023). Os resultados deste estudo indicam que a velocidade do vento da EMA Ouricuri A366, localizada na Região Sertão do Araripe, município de Ouricuri, Pernambuco, Brasil, apresentou médias horárias, mensal, sazonal e anual próximas entre si (respectivamente a 2,98 m/s; 2,97 m/s; 2,96 m/s e 2,99 m/s), com valores bastante dispersos (variabilidade dos acima de 30%), e, com enquadramento na categoria Aragem da tabela de Beaufort, com velocidade entre 2 e 3 m/s, quando é percebido em terra o movimento de folhas e o início do trabalho mecânico dos moinhos, e, predominância de tendência negativa dos valores das médias horárias, mensal e sazonal da série estudada.

Palavras-chave: Análise de Séries temporais; Análise de Tendências; Teste *Mann-kendall*; *Sen's Slope*; Velocidade do Vento

ABSTRACT

To verify the presence of hourly, monthly, seasonal and annual wind speed trends in the period from 2011 to 2022, representative of the municipality of Ouricuri, where the Automatic Meteorological Station EMA Ouricuri (A366) is located, we applied non-parametric statistical tests of *Mann-kendall* Modified MMK associated with the Sen's Slope estimator, Station A366 was chosen due to its proximity to the location planned for the installation of the D. João Wind Farm, which is in the initial phase of Environmental Licensing by IBAMA. In Brazil in 2022, renewable sources of electrical energy (water, sun and wind) increased their participation by around 16%, reaching 87.9% of the total. Particularly, the wind source showed an increase of 12.9% in energy generation and 14.3% in installed power (EPE, 2023). The results of this study indicate that the wind speed of EMA Ouricuri A366, located in the Sertão do Araripe Region, municipality of Ouricuri, Pernambuco, Brazil, presented hourly, monthly, seasonal and annual averages close to each other (respectively at 2.98 m/ s; 2.97 m/s; 2.96 m/s and 2.99 m/s), with quite dispersed values (variability above 30%), and, falling within the Plowing category of the Beaufort table, with speed between 2 and 3 m/s, when the movement of leaves and the beginning of the mechanical work of the mills are perceived on land, and, a predominance of a negative trend in the values of the hourly, monthly and seasonal averages of the series studied.

Keywords: Time Series Analysis; Trend analysis; *Mann-kendall* test; Sen's Slope; Wind speed

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de uma Estação Meteorológica Automática típica INMET.	20
Figura 2 – Visualização localização da Estação Automática Ouricuri EMA A366 em relação ao município de Ouricuri/PE.	21
Figura 3 - Visualização localização da Estação Automática Ouricuri EMA A366 em relação ao Parque Eólico D. João (Piauí/Pernambuco).	22
Figura 4 - Valores horários - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.	29
Figura 5 - Estatística Descritiva Valores Mensais - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.	30
Figura 6 - Estatística Descritiva - Valores Sazonais - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.	32
Figura 7 - Escala de Beaufort	43
Figura 8 - Velocidade do Vento média mensal (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022	44
Figura 9 - Velocidade do Vento valor máximo mensal (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022	44
Figura 10 - Vento Velocidade média por estação (m/s)- EMA A366 / Série Temporal 2011-2022	45
Figura 11 - Vento Velocidade máxima por estação climática (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022	45
Figura 12 - Vento Velocidade média anual (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022	46
Figura 13 - Vento Valor máximo anual (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022	46
Figura 14 - Vento Velocidade média por estação (m/s)- EMA A366 / Série Temporal 2011-2022	50
Figura 15 - Vento Velocidade máxima por estação climática (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022	50

Figura 16 - Vento Velocidade média anual (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 52

Figura 17- Vento Valor máximo anual (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva dos valores horários EMA A366 / Série 47

Tabela 2 - Tendência da Velocidade média do vento por hora (m/s) EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 47

Tabela 3- Velocidade média do vento - Valores mensais - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 48

Tabela 4 - Tendência da velocidade média do vento por mês (m/s) EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 48

Tabela 5 - Velocidade do vento -Valores Sazonais - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 49

Tabela 6 - Tendência da velocidade média do vento por estação (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 49

Tabela 7 - Velocidade média do vento por ano (m/s) EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 50

Tabela 8 - Tendência da velocidade média do vento por estação (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 51

Tabela 9 - Velocidade média do vento por ano (m/s) EMA A366 / Série Temporal 2011-2022 51

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1.	Objetivo geral	15
2.2.	Objetivos específicos	15
3.	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1.	Análise de Tendência: Série Temporal	16
3.2.	Vento: Fonte de Energia	17
3.3.	Licenciamento Ambiental Federal: Controle e Gestão Ambiental	18
4.	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1.	Área de Estudo	21
4.1.1.	Estação Meteorológica Automática Ouricuri A366	21
4.1.2.	Parque Eólico D. João	22
4.2.	Dados	24
4.3.	Estatística Descritiva	26
4.4.	Análise de Tendência: Teste de Mann-kendall e estimador Sen' Slope	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1.	Valores Horários	30
5.2.	Valores mensais	31
5.3.	Valores Sazonais	33
5.4.	Valores Anuais	35
6.	CONCLUSÃO	36

7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
8.	APÊNDICE	45

1. INTRODUÇÃO

A análise de tendências em séries temporais de dados meteorológicos é comumente realizada usando os testes estatísticos não paramétricos de *Mann-kendall* associado ao estimador de magnitude *Sen's Slope* (McVICAR *et al*, 2012; ABRAHÃO, 2014; YOUNG & RIBAL, 2019; ARAÚJO *et al*, 2023).

Silva *et al.*, (2022), reforçam essa afirmativa com uma revisão bibliográfica sistemática de métodos estatísticos para detecção de tendências em dados históricos voltados para mudanças climáticas, quando registraram o uso preferencial desses procedimentos.

No ano de 2001, o Brasil lançou o ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO (CEPEL, 2021), e, no ano de 2017, Pernambuco produziu seu ATLAS EÓLICO E SOLAR (PERNAMBUCO, 2017). O primeiro, de acordo com Lima (2021, p. 4) tem por fim “*oferecer todos os dados relativos ao levantamento do potencial eólico, no Brasil, com informações sobre vento de qualidade para uso em projetos de geração eólica em maior número e com maior confiabilidade*”, e, o segundo mapeou as áreas com maior capacidade para geração de energia por fontes renováveis, revelando para o Estado de Pernambuco um potencial eólico de 100GW.

Na sociedade brasileira, inclusive no meio acadêmico, é corriqueiro dizer existir conflitos entre os impactos de empreendimentos e as áreas de influência onde eles são implantados. Entendendo o poder público como um ente mediador desse conflito, o procedimento administrativo Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Potencialmente Poluidores, com seus instrumentos e ferramentas de gestão ambiental pública, assume um papel fundamental no momento da tomada de decisões por parte daqueles que nele se baseiam. Considerando um Parque Eólico na fase inicial do licenciamento ambiental, o conhecimento prévio das tendências da velocidade do vento da região onde ele se encontra, auxiliará os órgãos ambientais nas tomadas de decisão das avaliações técnicas que definem os prazos das

condicionantes das licenças ambientais voltadas para mitigação dos impactos citados no Plano Básico Ambiental PBA do empreendimento.

Neste estudo, para verificação da presença de tendências horária, anual, mensal e sazonal da velocidade do vento no período de 2011 a 2022, representativos do município de Ouricuri, onde está localizada a Estação Meteorológica Automática EMA Ouricuri (A366), aplicamos os testes estatísticos não paramétricos de *Mann-kendall* Modificado MMK associado ao estimador de *Sen's Slope*. A escolha da Estação A366 se deu por ser a mais próxima ao local previsto para instalação do Parque Eólico D. João que se encontra em fase inicial de Licenciamento Ambiental por parte do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA).

Na primeira parte desta dissertação, apresentamos uma revisão de literatura para três temas específicos: métodos estatísticos para análise de tendências; vento como fonte de energia, e, licenciamento ambiental, enquanto na segunda são feitos comentários sobre as áreas de estudo e as metodologias de análise de tendências utilizadas. Na terceira parte, os resultados da pesquisa são apresentados e discutidos, encerrando com a apresentação de um resumo das principais ideias na forma de conclusão.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Examinar a tendência da velocidade do vento em uma região do Nordeste brasileiro com previsão de instalação de um Parque Eólico.

2.2. Objetivos Específicos

- Utilizar o Teste de *Mann-kendall* para identificação das médias horárias, mensais, sazonais e anuais do vento.
- Determinar a taxa de inclinação das tendências significativas utilizando o estimador *Sen's Slope*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Análise de Tendência: Série Temporal

Morenttin e Tolo, (2006), indicam que a análise de uma série temporal pode ter por objetivo a investigação do mecanismo gerador da série, a realização de previsões de valores futuros, a descrição do comportamento, ou, como no nosso caso, a procura de periodicidades relevantes nos dados.

Para estes autores em uma série temporal estocástica são identificáveis, essencialmente, três componentes independentes: a tendência, a sazonalidade e a aleatoriedade. Considerando o componente Tendência destaca-se que o importante é a verificação da existência de um padrão de crescimento ou de decrescimento da variável ao longo do tempo.

Na recente revisão bibliográfica sistemática de métodos estatísticos para detecção de tendências em dados históricos voltados para mudanças climáticas realizada por Silva *et al.*, (2022), dos 29 artigos localizados nas plataformas *Science Direct* e *Web of Science* que abrangeram 30 países, a regressão linear e o teste não paramétrico de *Mann-kendall* associado ao *Sen's Slope* foram os métodos estatísticos identificados como os mais utilizados nas análises de tendências.

No Brasil, o estudo da direção e magnitude de tendência em séries temporais de dados meteorológicos, também é comumente realizado usando os testes estatísticos não paramétricos de *Mann-kendall* associado ao estimador de *Sen's Slope*, (BLAIN, 2015; SALVIANO; GROPO; PELEGRINO, 2016; MEDEIROS *et al.*, 2018; SILVA-UNIOR; FONSECA NETO & CABRAL, 2020; MEDEIROS *et al.* 2021; FERNANDES *et al.*, 2022).

Hartmann & Andresky (2013), citam que o uso regular do Teste de *Mann-kendall* em dados hidrometeorológicos, se dá pelo mesmo ser menos sensível a outlier do que outros métodos de detecção de tendência paramétrica.

Para corrigir um problema comum em séries temporais causado pela correlação serial, a afetação da variância estatística da distribuição da estatística S que pode

influenciar os resultados do teste, Araújo *et al.*, (2023) no artigo *Analysis of rainfall seasonality in Pernambuco, Brazil*, trabalha com a modificação do teste original de *Mann-kendall* realizada por Yue e Wang (2004), o teste *Mann-kendall* Modificado MKM.

3.2. Vento: Fonte de Energia

Vento é o movimento das massas de ar atmosférico gerado pela ação de gradientes de pressão e influenciado pela movimentação de rotação da terra, força centrífuga e atrito com a superfície terrestre, além de estar diretamente envolvido na distribuição da temperatura e umidade de ar atmosférico, o vento, é uma importante fonte de energia (TUBELIS & NASCIMENTO, 1986).

Em Pernambuco, o vento chega pela costa atlântica indo em direção ao continente, predominantemente no sentido sudeste/noroeste. Influenciado pelo relevo e clima de altitude, o vento aumenta a velocidade conforme avança na direção da região geográfica do Sertão (PERNAMBUCO, 2017).

De toda Oferta Interna de Energia (OIE) brasileira atual, 47,4% correspondem as energias renováveis (solar, eólica, biocombustíveis e biomassa). No ano de 2022, as fontes renováveis de energia elétrica (água, sol e vento), aumentaram sua participação em cerca de 16%, chegando a 87,9% do total. Particularmente, a fonte eólica apresentou um aumento de 12,9%, na geração de energia, e, 14,3% na potência instalada. Atualmente o total da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil é 193.9 GW (EPE, 2023).

Em uma breve linha do tempo, Guimarães (2020) ressalta que setor eólico *onshore* no Brasil, que teve sua primeira turbina instalada no ano de 1992, sofreu uma franca expansão após a Lei nº 10.438/2002, com a criação do Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa, atualmente sendo uma das fontes de energia com menor custo.

No caso o aproveitamento elétrico via energia eólica, a quantidade de eletricidade gerada, ou potência produzida, depende da quantidade de vento que passa pelo

conjunto das pás, diâmetro da hélice, dimensão do gerador e rendimento de todo o sistema. Como explica Andrade *et al.*, (2021), velocidades extremamente altas podem causar danos aos equipamentos prejudicando o quantitativo de energia gerada, e, que informações sobre tendência, variabilidade e outros fatores que influenciam a disponibilidade eólica são muito importantes para o conhecimento de riscos associados a projetos de energia eólica, ao tempo que existem aplicações práticas a partir dessas informações como o posicionamento e dimensionamento das torres eólica, otimizando o uso lucrativo direto dessa fonte (MUNHOZ & GARCIA, 2008)

Sabe-se que a velocidade de deslocamento das massas de ar é uma medida de grandeza vetorial, formada por três parâmetros: velocidade, direção e força. Sua medição leva em conta a razão entre o vetor de deslocamento dessas massas e o tempo necessário para este deslocamento ocorrer, e, considerando que a velocidade do vento é característica da altura em relação ao solo em que ocorreu a medição, é necessária a conversão de valores de velocidade obtidas a determinada altura para outras (TUBELIS & NASCIMENTO, 1986).

Outra importante aplicação do conhecimento sobre as peculiaridades do vento, é na segurança energética de uma região a partir do complementariedade da matriz energética. Estudos de complementariedade de fontes de energia, água, sol e vento, estão sendo realizados no México, Colômbia e Brasil, particularmente no Nordeste Brasileiro região de grande potencial eólico (GALLARDO; CASTRO; RÍOS, 2020; GALLARDO; RÍOS, RAMIREZ, 2020; SILVA; ALVES; RAMALHO, 2018).

Por ser uma variável aleatória, o vento não garante uma constância de geração, frustrando, eventualmente, a expectativa de oferta de energia elétrica. A essencialidade da segurança energética para a manutenção da atividade econômica e o fornecimento de serviços energéticos confiáveis para toda sociedade, ser uma preocupação constante do Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação MCTI (MCTI, 2023).

3.3. Licenciamento Ambiental Federal: Controle e Gestão Ambiental

O Banco Mundial na publicação “*Getting to Green - A Sourcebook of Pollution Management Policy Tools for Growth and Competitiveness*” (WORD BANK, 2012) considera o licenciamento ambiental como uma ferramenta a ser utilizada pela autoridade pública para prevenir, controlar e gerenciar a degradação das características físicas e, ou químicas de um ambiente. Considera-o também como um instrumento útil para o planejamento territorial e de uso da terra que deve integrar o processo de planejamento para o controle de atividade potencialmente poluidoras e que causem impactos ambientais significativos.

Staut (2011) e Barros (2019), analisaram a qualidade do licenciamento ambiental de parques eólicos na perspectiva da avaliação de impactos ambientais. O primeiro, identifica que os modelos de Estudos Ambientais realizados no Brasil não satisfazem, recomendando a realização de planejamento integrado para os processos de licenciamento. O segundo, considerando impactos sobre a fauna de morcegos comenta que a deficiência é maior no licenciamento simplificado, quando 2/3 dos órgãos estaduais de meio ambiente sequer mencionam a necessidade da amostra desse grupo animal na fase prévia, anterior a instalação.

Estão previstas na Normativa IBAMA nº 184/2008 quatro etapas para o Licenciamento Ambiental Federal LAF. A primeira etapa, tem como produto a definição de enquadramento de competência administrativa se federal, enquanto as três seguintes, se pertinentes, terão como produto as Licenças Prévia, de Instalação e Operação do empreendimento ou atividade potencialmente poluidora motivadora da abertura do processo administrativo.

Autores como Centoamore (2020) e Schreiner & Codonho (2018), preocupados com a destinação sustentável dos equipamentos no caso de descomissionamento das instalações eólicas, destacam a necessidade da internalização dos conceitos de economia circular desde a concepção dos projetos de parques eólicos, assim como a revisão do procedimento trifásico do licenciamento ambiental desses empreendimentos.

Tecnicamente, cada uma das licenças, que são atos administrativos, além de determinarem condições gerais do comportamento do empreendedor, devem refletir as condições específicas necessárias para o bom andamento do projeto a partir da análise técnica dos estudos ambientais solicitados e adequados a cada situação de tipologia, porte e localização do empreendimento ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

4.1.1. Estação Meteorológica Automática Ouricuri A366

A Estação Meteorológica Automática Ouricuri (A366), está localizada a uma altitude de 457,85m no município de Ouricuri, Estado de Pernambuco, Brasil (Latitude 7°53'8.999" S/ Longitude 40°6'10.001" O). Abaixo a figura 1 oferece o exemplo de uma estação meteorológica típica do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET), enquanto a Figura 2 situa a EMA A366 no município de Ouricuri-PE.

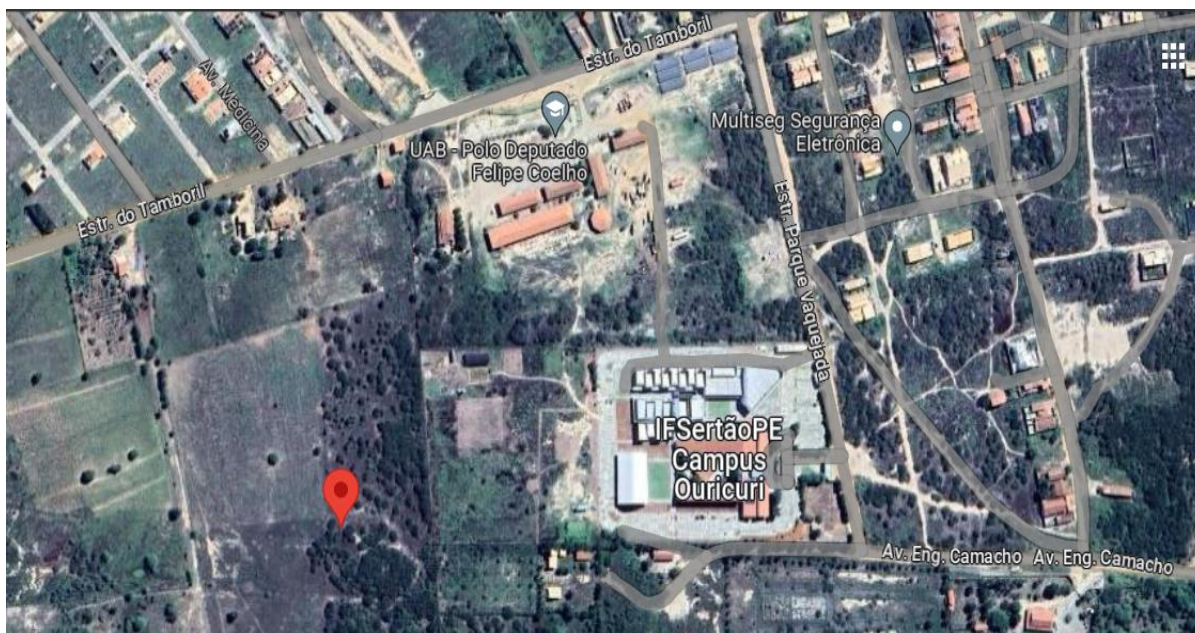
O início da operação da EMA A366 data de 10/08/2010, e, atualmente, encontra-se em pane (INMET, 2023). No entanto, existe a perspectiva de restauração de suas atividades em razão da recente assinatura do Acordo de Cooperação Técnica entre o Inmet e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano IFSERTÃO (INMET, 2023).

Figura 1 - Exemplo de uma Estação Meteorológica Automática típica INMET.



Fonte: INMET, (2011).

Figura 2 – Visualização localização da Estação Automática Ouricuri EMA A366 em relação ao município de Ouricuri/PE.



Fonte: Google Maps, 2023.

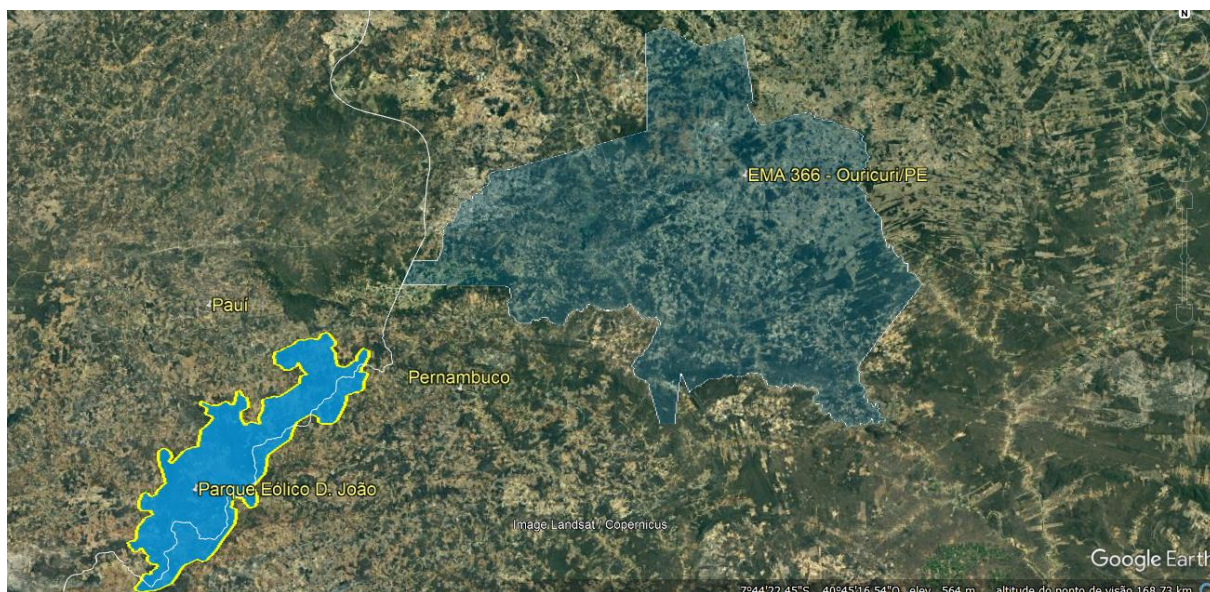
O município de Ouricuri localizado na região fisiográfica do Sertão Pernambucano, está inserido na bacia hidrográfica do Rio Brígida, cujos rios tributários funcionam em regime de escoamento intermitente. O clima é semiárido *Bsh*, com o mês de novembro registrando os maiores valores de temperatura do ar, como em toda região do Sertão do Araripe Pernambucano. Apresenta um relevo pouco acidentado, com altitude entre 300 e 800m e solos de alta fertilidade. O município conta com uma população de 65.245 pessoas apresentando um IDHM de 0,572 (IBGE, 2023).

4.1.2. Parque Eólico D. João

Com uma área de 356.202 ha distribuídos entre os Estados de Pernambuco (municípios de Santa Filomena, Dormentes e Afrânio), e, do Piauí (municípios de Betânia do Piauí e Acauã.), o Parque Dom João contará com 258 estruturas entre aerogeradores, linha de transmissão, subestação e outras.

A altitude do Parque D. João está em torno do 600 m do nível do mar, distando cerca de 50 Km da estação meteorológica automática A366 (Figura 3).

Figura 3 - Visualização localização da Estação Automática Ouricuri EMA A366 em relação ao Parque Eólico D. João (Piauí/Pernambuco).



Fonte: Google Maps, (2023)

Este empreendimento que terá uma potência instalada de 1.116 MW deu entrada no pedido de licenciamento ambiental no Ibama FCA 67912541/SEI nº 14968163 em fevereiro de 2023, estando no momento em fase prévia de atendimento ao Termo de Referência específico SEI nº 15397482.

Assim como a EMA Ouricuri A366, a região serrana onde está localizado o Parque Eólico D. João, está inserida na unidade geoambiental Depressão Sertaneja com paisagem típica do semiárido, relevo predominantemente suave-ondulado cortado por estreitos, e, elevações residuais, testemunhos dos ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte dessa região (SA; RICHÉ; FOTIUS, 2004).

Para este trabalho foram utilizadas as séries temporais do período de 1º de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2022 da Estação Meteorológica Automática Ouricuri A366.

Os dados históricos da velocidade e direção do vento desta Estação, foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos BDMEP do INMET disponibilizados gratuitamente na forma de planilha de CSV (INMET, 2023).

Para o INMET, a medida da velocidade do vento corresponde à quantificação do movimento do ar em uma unidade de tempo. Quanto ao registro dos dados no equipamento, este é feito no fuso horário astronômico de referência, *Coordinated Universal Time* UTC, e, nas estações automáticas corresponde à média dos últimos 10 minutos antes da hora do envio das mensagens dos dados (INMET, 2023).

Como sugerido por Dadaser-celik & Cengiz (2014), todos os dados registrados foram aproveitados na análise, mesmo considerando variáveis como mudança de instrumentação ou mudanças do ambiente no entorno da Estação, que possam afetar sua homogeneidade.

Na coleção de dados trabalhada, foi observado a ausência de registro em 21.626 das 108.623 observações feitas no período de 2011 a 2022, o que corresponde a 19,90% do total. Considerando a independência dos valores individuais optou-se por preencher os dados faltantes com os valores médios de todos os dados do período fixados no dia, hora e mês.

Com relação a sazonalidade dos dados, como a quantidade de dias e horas de cada estação variam a cada solstício e equinócio, o número de dados totais por estação também variou, totalizando para o inverno 24.728 registros (Mês 3, 4 e 5), outono 25.461 (Mês 6, 7 e 8), primavera 23.727 (Mês 9, 10 e 11) e verão 25.396 (Mês 12, 1 e 2).

Ressalta-se que no Nordeste brasileiro, onde está localizada EMA A366, em razão da baixa variabilidade nos valores de temperatura entre as estações, é comum separar as quatro estações em dois grupos, o primeiro com maiores precipitações

chamado de estação chuvosa, de março a agosto, e, o segundo com menor incidência de chuvas, chamada de estação seca, de setembro a fevereiro (PERNAMBUCO, 2017).

A análise de tendência horária, mensal, anual e sazonal dos dados trabalhados será realizada com o uso de testes não paramétricos *Mann-kendall* Modificado e estimador *Sen's Slope*.

4.2. Estatística Descritiva

Para investigação dos atributos gerais dos ventos da região da área de estudo, foi providenciada a estatística descritiva dos valores dos dados da série trabalhada envolvendo estatísticas de tendência central e de dispersão, identificação dos valores mais baixos e mais altos da série, e, enquadramento da categoria do vento de acordo com sua intensidade, força.

Este resumo dos dados tem por fim identificar os valores médios, desvios padrão, mínimos e máximos dos dados horários, mensais, sazonais e anuais da série temporal da estação meteorológica automática Ouricuri EMA (A366), além de realizar o enquadramento das velocidades médias na escala de categorização de intensidade do vento de Beaufort (Figura 5). Os resultados serão apresentados em tabelas e gráficos.

4.3. Análise de Tendência: Teste de *Mann-kendall* e estimador *Sen' Slope*

Para as análises da direção e magnitude da tendência foram utilizados os Testes de *Mann-kendall* e o estimador de *Sen's Slope*.

O Teste de *Mann-kendall* é um teste não paramétrico de regressão de tendência, que contrapõe a hipótese de aleatoriedade dos dados, ao comparar, de forma ordenada, cada valor da série com o seguinte e, avaliando se a variável tende a aumentar ou diminuir ao longo do tempo (MANN, 1945).

Para estatística S do teste *Mann-Kendal* utilizamos a Equação (1), com a função monótona *sgn* definida na Equação (2).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & , \text{ se } \theta > 0 \\ 0 & , \text{ se } \theta = 0 \\ -1 & , \text{ se } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

x_j e x_i : valores dos dados em sequência n : posição do dado sgn : sinal do argumento

Se o valor de S for maior do que zero ($S > 0$) a tendência da reta é crescente, se S for menor do 0 ($S < 0$), a tendência da reta é decrescente, e, se o valor de S for igual ($S=0$), sem tendência. Foi considerado um nível de significância de 0,05 (Equação 3).

$$\alpha = 0,5 \quad (3)$$

Para correção da correlação serial, comum em séries temporais e que podem influenciar resultados do teste de *Mann-kendall*, contaminando a estimativa da magnitude da tendência o teste, foi utilizado o teste *Mann-kendall*, Modificado MMK, como realizado por Araújo *et al.*, (2023). O valor esperado da estatística S é zero (Eq. 4), e, as equações (5) e (6) correspondem respectivamente a variância e estatística Z do MMK.

$$\mu = 0 \quad (4)$$

$$\text{Var}^*(S) = \text{Var}(S) \frac{n}{n^*} \quad (5)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}^*(S)}} & , \text{ se } S > 0 \\ 0 & , \text{ se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}^*(S)}} & , \text{ se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

O *Sen's Slope* é um estimador não paramétrico simples e robusto, que usa pontos e intervalos, o diferenciando dos métodos baseados na média como os

mínimos quadrados (SEN, 1968). Este estimador, usado geralmente em conjunto com o Teste de *Mann-kendall*, estima a força das tendências, caso existam.

A estimativa do *Sen's Slope* pode ser encontrada de acordo com a Equação (7), como a mediana das inclinações (Q) calculada a partir de todos os pares de valores na série.

$$Q_{ij} = \frac{x_i - x_j}{j - i} \quad , \quad \text{para } j > i \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, n - 1 ; \quad j = i + 1, i + 2, \dots, n$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período estudado, 01/01/2011 à 31/12/2022, contou com 105.192 dados, resultantes dos registros da velocidade do vento da Estação Meteorológica Automática Ouricuri EMA A366, e, do preenchimento dos dados faltantes.

As TABELAS 01, 02, 03, e 04, que se encontram no APÊNDICE I, apresentam os valores mínimos, máximos, médios, desvio padrão e coeficiente de variação, dos valores horários, mensais e sazonais da velocidade do vento da EMA A366.

Destacando os outliers dos valores horários, mensais e sazonais, temos os Box Plot que ainda ajudam a visualizar aos valores mínimos e máximos da série (FIGURAS 06, 07 e 09).

Complementando o resumo dos dados as FIGURAS 10, 14 e 17, mostram, respectivamente, a largura da faixa de variação das velocidades médias mensais, sazonais anuais, enquanto as FIGURAS 11, 15 e 18, mostram a faixa das velocidades máximas desses mesmos agrupamentos.

Com estas informações foi possível caracterizar os ventos da região, identificando as medidas de tendência central dos valores da série de dados, a dispersão destes valores em relação às médias do conjunto, o tamanho da faixa de velocidade do vento no período, e, a categoria em que a intensidade do vento na Tabela Beaufort, se encontra.

Para os cálculos das tendências, com remoção da correlação entre dados da série temporal, foi aplicado o Teste de *Mann-kendall* modificado, testando a hipótese de estacionaridade de toda a série.

O resultado da aplicação do Teste de *Mann-kendall*, que auxiliará a análise de tendência, encontra-se na TABELA 05, dados horários, TABELA 06, dados mensais e TABELA 07, dados sazonais. Com a indicação de ocorrência da presença de tendência na série temporal (nível de significância de 0,05), os valores de Z revelam se a tendência nos valores da série é crescente ou decrescente, assim como o possível momento em que ocorre a ruptura.

5.1. Valores Horários

Para caracterização da velocidade do vento horário, as 24 horas UTC presentes na TABELA 02 foram divididas em quatro grupos: Grupo I (UTC00 à UTC05); Grupo II (UTC06 à UTC11); Grupo III (UTC12 à UTC17); Grupo IV (UTC18 à UTC23).

Levando em conta o fuso horário de Brasília UTC-3, o GI corresponde aos horários das 21h às 2h da madrugada, o GII das 3h às 8h da manhã, o GIII das 9h às 14h, e, o GIV das 15h às 20h.

A média da velocidade do vento para os quatro grupos foi de 2,98 m/s, com os três maiores valores restrito ao GIII (máximos 3,84 m/s UTC14, 3,83 m/s UTC13, e, 3,77 m/s UTC12), e, os três menores valores ocorrendo nos grupos GI e GII (2,23 m/s UTC00; 2,85 m/s UTC09; 2,18 m/s UTC23).

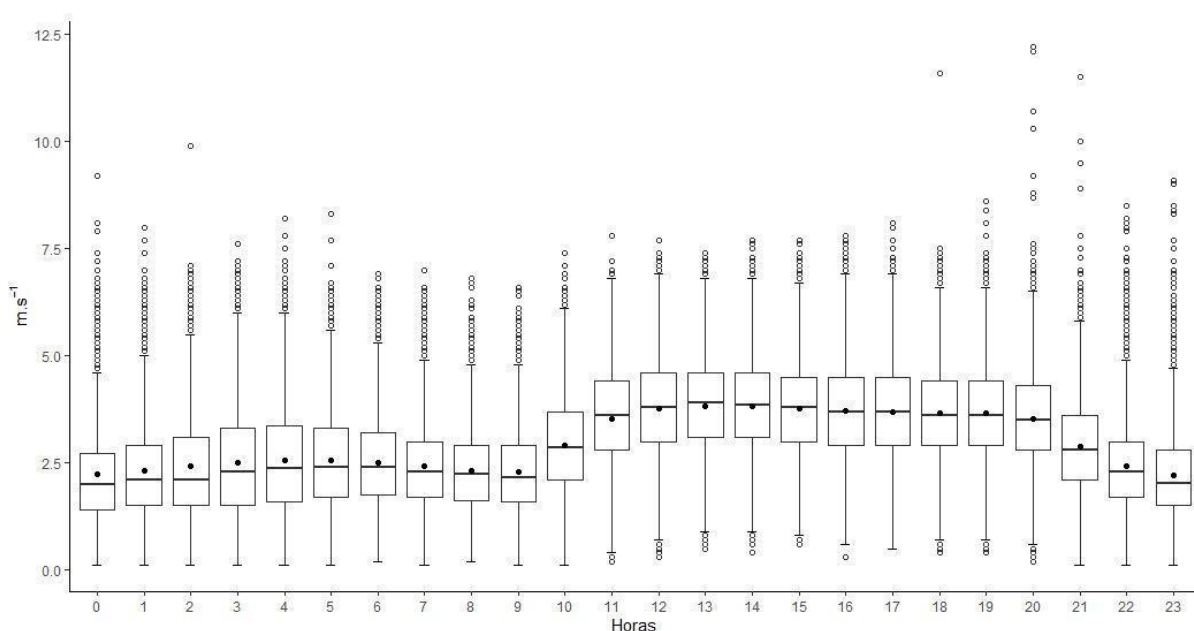
Considerando os períodos matutinos e vespertinos da região, as maiores médias da velocidade do vento ocorreram no período da manhã (9h, 10 e 11h horário de Brasília), enquanto as duas menores médias ocorreram no horário noturno (20 h e 21 h horário de Brasília), seguida pelo terceiro menor valor ocorrendo no início da manhã (6 h, horário de Brasília).

Os desvios padrão encontrados em todos os blocos foram próximos entre si, com o menor valor registrado para o Grupo II (UTC08 e UTC09 - 1,03m/s), e, o maior para Grupo I (UTC 03 -1,21m/s). Em todos os horários os valores do Coeficiente de Variação são altos, acima de 30% (Fig. 06). Um destaque é a correspondência entre os valores do coeficiente de variação dos horários e médias de velocidade horários: os três maiores valores médios da velocidade do vento UTC 12, UTC 13 e UTC 14 (Grupo III) coincidem com os valores mais baixos CV (31% e 32%), indicando menor dispersão nestes horários. Ao mesmo tempo, os menores valores médios da velocidade do vento, tem como correspondentes os valores maiores do coeficiente de variação.

Apesar da ocorrência de outliers (destaque para horários pós UTC 10 do Grupo II- FIGURA 07), as médias e medianas dos valores médios horários ficaram bem próximos.

No enquadramento na Tabela de Beaufort, o valor médio horário se encaixa na designação de aragem com velocidade entre 2 e 3 m/s, quando é percebido em terra o movimento de folhas e o início do trabalho mecânico dos moinhos.

Figura 4 - Valores horários - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.



Fonte: Autora, (2023).

Na análise da tendência horária, uma hora específica foi fixada e observada sua variação por dia, mês e ano. É possível observar que com a exceção dos horários UTC 01, 02, 03, 04 (Grupo I), e, 08 e 09 (Grupo II) que não apresentaram significância, todos apresentaram tendência negativa, com pequena inclinação, sem sugestão de identificação de um horário específico de concentração da redução da velocidade.

5.2. Valores mensais

O valor mínimo da velocidade mensal do vento (0,1 m/s) teve uma distribuição equilibrada ao longo dos meses do ano (meses 01-02-04-05-06-07-12) enquanto o

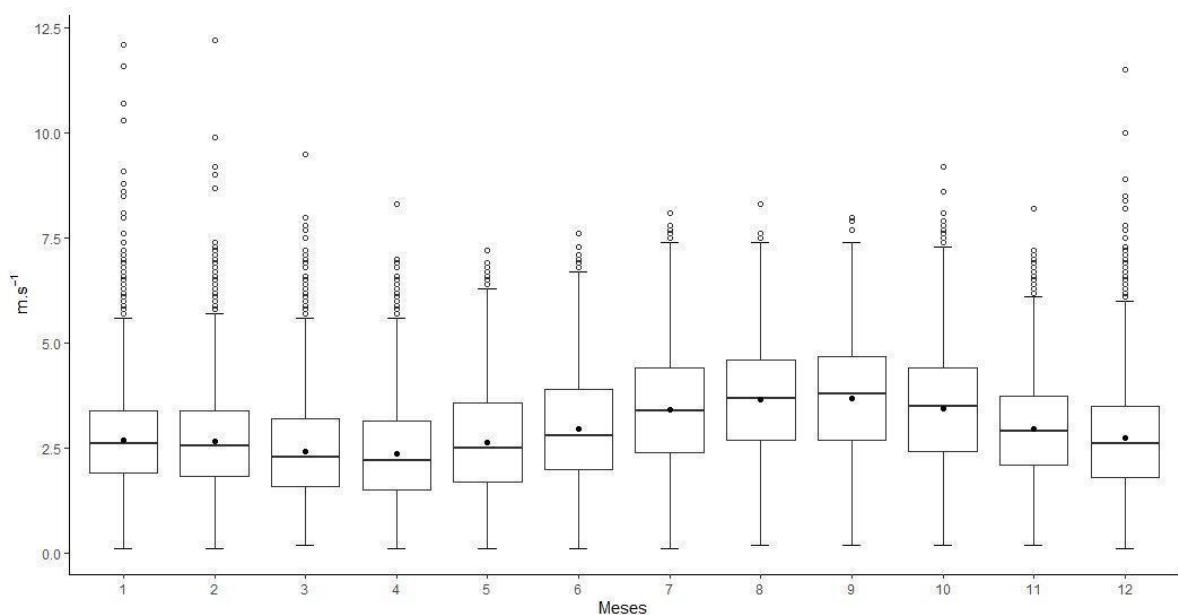
valor máximo (12,2 m/s) ocorreu apenas uma vez, no mês 02, fevereiro, seguido por pequenas diminuições nos meses 01 (12,1 m/s), e 12 (11,5 m/s).

Observou-se que a velocidade média mensal foi de 2,97 m/s, com valores mínimo de 2,36m/s (Mês 04) e máximo de 3,68 m/s (Mês 09), e, que a variabilidade das médias observadas entre os doze meses, registrou um desvio padrão entre 1,15 m/s (meses 1, 3 e 4), e, 1,38 m/s (mês 9), com todos apresentando Coeficiente de Variação acima de 35%. As médias individuais da velocidade do vento dos meses 3, 4 e 5, apresentaram os menores valores (2,43m/s 2,36m/s e 2,64m/s) ao mesmo tempo que apresentaram os maiores coeficientes de variação, 47%, 49% e 47%. O mesmo ocorreu com as maiores médias, só que no sentido contrário, os meses 8, 9 e 10, apresentaram as maiores médias e os menores coeficientes de variação (média 3,65-CV 36%; média 3,682-CV 37%; média 3,44-CV 39%).

Os outliers se destacam nos meses mais quentes (11, 12, 1 e 2), mantendo a proximidade dos valores médios e medianos (FIGURA 08).

No enquadramento na Tabela de Beaufort, os valores médios horários também se encaixam na descrição de brisa leve e suave (de 1,6 m/s a 5,5 m/s).

Figura 5 - Estatística Descritiva Valores Mensais - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.



Fonte: Autora (2023)

Os valores médios mensais se apresentam como uma faixa mais uniforme, com valores máximos abaixo de 5 e mínimo próximo a 2 (FIGURA 08). Já os valores máximos mensais, apresentam três picos entorno de 12 m/s, concentrados nos últimos meses do ano (FIGURA 09)

Na verificação da presença de tendência mensal, cada um dos 12 meses foi fixado e, como mostra a Tabela 07, os meses 1, 3 e 12 não apresentaram significância probabilística nas suas tendências negativas, enquanto os meses restantes, pelo estimador *Sen's Slope*, indicaram tendência negativa.

Os momentos de ruptura não ficam claros, e, mais uma vez não foi possível observar o ponto inicial da presença de tendências.

Em um estudo realizado com as estações meteorológicas localizadas nos municípios de Patos e Souza, Estado da Paraíba/Brasil, foi identificado que a menor velocidade não só ocorreu no mês de fevereiro, mas também em março e abril em uma faixa de 2,41 m/s a 2,58 m/s (MEDEIROS *et al.*, 2021).

5.3. Valores Sazonais

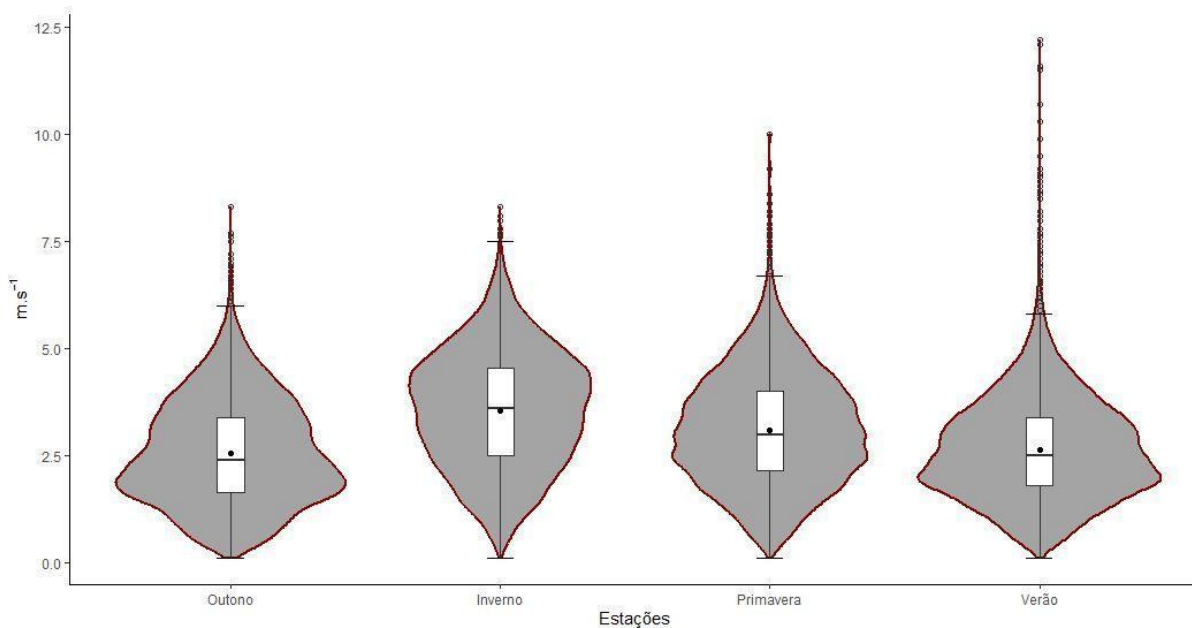
O valor mínimo registrado da média sazonal do período dos 12 anos estudado (2011-2022), foi igual para todas as estações (0,10 m/s), enquanto o valor máximo ocorre em apenas uma estação, o verão (12,20 m/s). O valor médio das médias sazonais foi da ordem de 2,96 m/s, com um desvio padrão máximo de 1,37m/s ocorrendo no inverno, seguido pela primavera (1,31 m/s), outono (1,23 m/s) e verão (1,17 m/s).

Como nos resumos horários e mensais acima descritos, o Coeficiente de Variação mais alto (48%,) ocorreu na estação de mais baixa média de velocidade do vento, outono (2,57 m/s), enquanto o mais baixo ocorreu no inverno, junto com a maior média entre as quatro estações (TABELA 04).

Apesar de visualmente, os outliers dos valores sazonais serem mais perceptíveis no verão, as faixas dos valores médios de todas as estações são semelhantes, com maior massa de valores abaixo de 5 m/s^{-1} e média e mediana também próximas (FIGURAS 10, 11 e 12).

Costa (2022) que analisou a tendência da velocidade do vento em 27 localidades no Nordeste brasileiro, selecionou os meses de fevereiro e outubro como representativos das estações chuvosa e seca, característica da sazonalidade climática da região. Neste estudo, Costa observou para o mês de fevereiro a predominância de tendências significativas negativas, chegando a 100% de das tendências observadas neste mês, enquanto para o mês de outubro ocorreu o inverso com maior registro de tendências significativas positivas (70%).

Figura 6 - Estatística Descritiva - Valores Sazonais - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.



Fonte: Autora (2023)

No caso da análise de tendência na sazonalidade foi em relação a cada uma das quatro estações (inverno, outono, primavera e verão), observadas ao longo de toda série. Cada estação corresponde a um trimestre.

Coerente com a análise de tendência mensal, os resultados indicaram a presença de tendência negativa em todas as estações.

5.4. Valores Anuais

No período dos 12 anos, os três maiores valores médios anuais ocorreram nos anos de 2012, 2016 e 2017 (Tabela 5), período coincidente com uma forte estiagem no sertão brasileiro. Registra-se que os valores máximos da velocidade do vento, também ocorrem neste intervalo.

Apesar da impossibilidade em aplicar o teste de análises de tendências neste caso, as faixas de das velocidades média anual e máxima anual (FIGURAS 13 e 14), sugerem um indicativo de diminuição dos valores médios ao longo da série.

Oliveira e Barrozzino (2018), comentam que na Região Sul do Brasil, Estado do Paraná, a velocidade média do vento ao longo do período estudado por eles (1978-2017) apresentou tendência negativa para as localidades estudadas, correspondendo a 12% do total de registros em Londrina, 21% em Paranavaí, 18% em Morretes e 9% em Telêmaco Borba.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados e discussão apresentados podemos concluir sobre a velocidade do vento a partir da série temporal 2009-2022 da Estação Meteorológica Automática Ouricuri A366, localizada na Região Sertão do Araripe, município de Ouricuri, Pernambuco, Brasil:

- As médias horárias, mensal, sazonal e anual do período estão próximas entre si e correspondem respectivamente a 2,98 m/s; 2,97 m/s; 2,96 m/s e 2,99 m/s
- Os valores da velocidade do vento são bastante dispersos (variabilidade dos acima de 30%)
- O vento apresenta-se em média na forma de brisa leve e suave, com força para movimentação de folhas e galhos.
- A tendência negativa dos valores das médias predomina nas análises horárias, mensal e sazonal.
- O conhecimento prévio da tendência do vento colabora com a definição dos prazos das condicionantes das licenças ambientais voltadas para mitigação dos impactos citados no Plano Básico Ambiental PBA de um empreendimento.

Por fim, sugerimos a inclusão nos Termos de Referência elaborados pelos órgãos ambientais na fase prévia do licenciamento ambiental da realização de análises de tendência do vento da região onde está localizado o empreendimento, com objetivo de subsidiar tomadas de decisão das avaliações técnicas necessárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, R. **Compreensão de Mudanças Climáticas Regionais Através da Aplicação de Três Métodos Estatísticos**. In: V Congresso Brasileiro de Energia Solar – V CBENS, 2014, Recife – PE. Anais eletrônicos do V Congresso Brasileiro de Energia Solar – V CBENS. São Paulo. 7 p. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2180> Acesso em: 12 de agosto de 2023.

ANDRADE, A, R; MELO, V, F, M, B; LUCENA, D, B & ABRAHÃO, R. Wind speed trends and the potential of electricity generation at new wind power plants in Northeast Brazil, 2021. In: **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**. 43, 182 (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40430-021-02911-y>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.

AMAURY DE SOUZA, S. S. Análise da estimativa dos parâmetros da distribuição de weibull para velocidade do vento em campo grande – MS. 2019. In: **Journal of Environmental Analysis and Progress** V. 04 N. 03 (2019)168-179. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334235894_Analise_estatistica_de_parametros_de_Weibull_para_avaliacao_de_potencial_de_energia_eolica_em_Campo_Grande

ARAÚJO, L, D, S; SILVA, A, S, A; MENEZES, R, S, C; STOSIC, B & STOSIC, T. Analysis of rainfall seasonality in Pernambuco, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 2023. 153:137–154. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04462-9>.

THE WORLD BANK GROUP. **Getting to green a sourcebook of pollution management policy tools for growth and competitiveness**. 1. ed. Washington, DC, 2012.

BARROS, M. A. & BERNARD, E. **Licenciamento ambiental de parques eólicos no brasil: qualidade das diretrizes**, 2019. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/07/ID-53-Barros-Bernard-2019-Licenciamento-estadual_05.06.2019.pdf. acesso: 14 de fevereiro de 2023.

BLAIN, G. The influence of nonlinear trends on the power of the trend-free pre-whitening approach. 2015. In: **Acta Scientiarum Agronomy**. Disponível em: DOI: 10.4025/actasciagron.v37i1.18199. acesso: 22 de julho de 2023.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – (CONAMA). **Resolução nº 462**, de 24 de julho de 2014. Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0462-24072014.pdf>. Acesso em 12 de julho de 2023.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL). **Atlas do potencial eólico brasileiro**. 2021. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=1>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.

CENTOAMORE, P. **Análises de práticas de economia circular para destinação de pás de turbinas em final de vida**. 2020. Dissertação. (Programa de mestrado em engenharia de produção- PPGEP) - Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://bibliotecatede.uninove.br/handle/tede/2442>. Acesso em 07 de julho de 2023.

COSTA, P. C. **Tendências e ciclos médios da velocidade do vento e complementaridade energética em regiões próximas a empreendimentos eólicos no nordeste do brasil** Dissertação. 2022. (Programa de pós graduação em ciências climáticas). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2022.

DADASER-CELIK, F., & CENGIZ, E. WIND SPEED TRENDS OVER TURKEY FROM 1975 TO 2006. **International Journal Of Climatology**, v.34, n.34, p.15. 2014 Disponível em doi:10.1002/joc.3810. acesso: 14 de abril de 2023.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Relatório Síntese**. 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf. Acesso: 19 de julho de 2023

Empresa de Pesquisa Energética – EPE **Empreendimento eólicos ao fim da vida útil: Situação atual e alternativas futuras**. 2021. 57p., Brasília – DF. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoesdadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-563/NT-EPE-DEE-0122021.pdf>. Acesso em 14 de julho de 2023.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco energético nacional**. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em 05 de agosto de 2023.

FERNANDES, A, C, G; BORGES, I, M S; SILVA, J, A; SILVA, E, C, B, D; SANTOS, M, J, R; PESSOA, D, D, S; MARTINS, M, S; SILVA, J. A. D; CAMPOS, J. O & MEDEIROS; L, R, D, A. **O uso do teste de *mann-kendall* para detecção de tendência da precipitação em região semiárida Pernambucana**, 2022. In: Research, Society and Development, v. 11, n. 11, e546111133925, 2022 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33925>. Acesso em 02 de agosto de 2023.

FIGUEIRÊDO, B. C. **Análise multifractal da velocidade do vento em pernambuco**. 2014. Dissertação. Programa de pós graduação em biometria e estatística aplicada. APLICADA. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2014.

GALLARDO, R. P., & RIOS, A, M; RAMIREZ, J. S. ANALYSIS OF THE SOLAR AND WIND ENERGETIC COMPLEMENTARITY in Mexico. **Journal of Cleaner**

Production. v,268, p.15. 2021. Disponível em: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122323>. Acesso em 17 de julho de 2023.

GALLARDO, R. P., Castro, A. O., & Ríos, A. M. **An image processing-based method to assess the monthly energetic complementarity of solar and wind energy in colombia.** V,13, p.17, 2020. Disponível em: doi:10.3390/en13051033. Acesso em 25 de julho de 2023.

GUIMARÃES, B, S. **O licenciamento ambiental de empreendimentos eólicos offshore: histórico mundial e diretrizes para o Brasil.** 2020. Dissertação. (Programa de pós graduação e pesquisa de engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

HARTMANN, H & ANDRESKY, L. Flooding in the Indus River basin — A spatiotemporal analysis of precipitation records. In: **Global and Planetary Change** v,107, p.25–35. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.04.002>. Acesso em 03 de julho de 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Cidades e Estados. Ouricuri** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/ouricuri.html>. Acesso em: 14 de agosto de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Ministério da Agricultura e Pecuária. INMET (2023). **Acordo de cooperação técnica no. 21160.000939/2022-25**, que visa visando a instalação e manutenção de: Estação Meteorológica Automática - AUT (A366 - OURICURI/PE). seção 3, Brasília, DF, ano 161, n. 28, p. 3, 28 de fevereiro de 2023. Disponível em:<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/1226672411/dou-secao-3-28-02-2023-pg-3>. Acesso em 27 de julho de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Ministério da Agricultura e Pecuária. INMET (2011). **Nota técnica no. 001/2011**, descreve o sistema de informação meteorológica automática de superfície. Disponível em:

https://www.cemtec.ms.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf. Acesso em 28 de julho de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. Ministério da Agricultura e Pecuária. Catálogo de Estações. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut>. Acesso em: 12 de agosto de 2023.

JUNIOR, M. A; Neto, G. C; & Cabral, J. J. (2020). Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no recife-pe, 2020. **Revista de Geografia**, v,37, n1, p. 19. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>. Acesso em 03 de julho de 2023.

LIMA, F. J; Gonçalves, A. R; Costa, R. S; Martins, F. R; & Pereira, E. B. **Variações na frequência de ventos extremos e seu impacto no setor de energia**. 2020. Disponível em: doi:10.47168/rbe.v26i3.575. Acesso em 04 de julho de 2023.

LIMA. V, J. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. 2021. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=1>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica. Journal of Econometric Society*. V, 13, n,3, p. 245-259. 1945. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1907187>. Acesso em 28 de junho de 2023.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (2023). Disponível em: <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/sobre>. Acesso 29 de agosto de 2023.

MCVICAR, T. R; RODERICK, M. L; DONOHUE, R. J; Li, L. T; VAN NIEL, T. G; THOMAS, A; Dinpashoh, Y. Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. 2012. **Journal of Hydrology**, v, 416-417, p.182–205. 2012. Disponível em: doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.024. acesso: 22 de junho de 2023.

MEDEIROS, S, E, L.; ABRAHÃO, R; GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; PEIXOTO, I, M & SILVA, L, P. **Assessment of precipitation trends in the sertão paraibano mesoregion**. Revista Brasileira de Meteorologia, v,33, p.9 2018. Disponível em: doi:<http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786332016>.

MEDEIROS, S, E, L; NILO, P, F; SILVA, L, P; SANTOS, C, A, C; CARVALHO, M & ABRAHÃO, R. Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. **Journal Of Arid Environments**. v, 184, n, p.12, 2021. Disponível em:doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104331>. Acesso em 13 de julho de 2023.

MOREIRA, Á. F. **Avaliação do requisito de tempo de medição anemométrica para autorização e contratação de novos parques eólicos no brasil**. 2016. Dissertação do (programa de mestrado em economia do setor público). Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2016.

MORETTIN, P, A. & TOLOI, C, M. **Análise de séries temporais**. 2ª Ed. São Paulo: Egard Blucher, 2006. P. 282.

MUNHOZ, F. C; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de iturevava – SP. 2008. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.23, n.1, 30-34, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000100003>. Acesso em 03 de julho de 2023

OLIVEIRA, D. d., & BORROZZINO, E. (julho de 2018). TENDÊNCIAS DE ALTERAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO NO ESTADO. 2018. *Agrometeoros*, 26, pp. 145-149. Disponível em: www.sbagro.org.br.

PERNAMBUCO (2017). Atlas Eólico e Solar de Pernambuco. Disponível em:<http://www.atlaseolicosolar.pe.gov.br/?In%20Memoriam>. Acesso em 14 de julho de 2023.

SA, I. B.; RICHE, G. R.; FOTIUS, G. A. As paisagens e o processo de degradação do semi-árido nordestino. In: **Embrapa Semiárido**. Petrolina - PE, 2004. p. 17-36.

SALVIANO, M. F., GROppo, J. D., & PELLEGRINO, G. Q. Análise De Tendências Em Dados De Precipitação E Temperatura No Brasil. 2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v, 31. n, 1. p. 64-73. Disponível em: doi:<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620150003>. Acesso: 16 julho de 2023.

SANTANA, L. V. **Análise de variabilidade e similaridade de velocidade do vento no nordeste do brasil**. 2018. Dissertação. (Programa de pós-graduação em biometria e estatística aplicada). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2018.

SCHREINER, G. H., & CODONHO, M. L. Descomissionamento ambiental: análise da temática em empreendimentos de geração de energia eólica. **Revista de Direito Ambiental** (recurso eletrônico). São Paulo, n.92, out./dez. 2018.

SEN, P, K. **Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau** *Journal of the American Statistical Association*. Published by: American Statistical Association. Vol. 63, No. 324, pp. 1379-1389. 1968. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>. 1968. Acesso: 22 de junho de 2023.

SILVA, J, A, B; FONSECA, G, C; CABRAL, J, S, P, C. Análise Estatística Para Detecção De Tendências Em Séries Temporais De Temperatura E Precipitação No Recife-Pe. 2020. In: **Revista de Geografia** (Recife) V. 37, No. 1, 2020.

SILVA, L, P, D; SANTOS, P, R, D, A; RIBEIRO, G, M, S; MEDEIROS, S & ABRAHÃO, R. Métodos estatísticos para detectar tendências em dados climáticos históricos: revisão bibliográfica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v,39, p.13. 2022 Disponível em: doi:10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26929. acesso: 15 de julho de 2023.

SILVA, S. S., Alves, A. C., & Ramalho, Â. M. **Energia eólica e complementaridade energética: estratégia e desafio para o desenvolvimento sustentável na região**

nordeste do brasil. *Qualitas Revista Eletrônica*, v, 19, n, 3. 2018. Disponível em: doi:<http://dx.doi.org/10.18391/req.v19i3.5640>. acesso: 22 de junho de 2023.

STAUT, F. **O processo de implantação de parques eólicos no nordeste brasileiro.** 2011. Dissertação. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana da Escola Politécnica.) Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.

TUBELIS, A, & NASCIMENTO, F, J, L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Livraria Nobel. 1ª Ed. 4ª Impr. 1986. P.387.

WILKS, D. S. **On “Field Significance” and the False Discovery Rate. *Journal Of Applied Meteorology And Climatology*.** v45, n,9, p. 1181–1189. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JAM2404.1>. Acesso em 23 de julho de 2023.

YOUNG, I, R. & RIBAL, A. **Multiplatform evaluation of global trends in wind speed and wave height. *Science*,** v, 364, p, 548–552. 2019. Disponível em: doi:10.1126/science.aav9527. acesso: 15 de março de 2023.

YUE, S., & WANG, C. The *mann-kendall* test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. ***Water Resources Management*,** v, 18. p. 201-218. 2004.

YUE, S; PILON, P; & PHINNEY, B. Canadian streamflow trend detection: Impacts of serial and cross-correlation. ***Hydrological Sciences Journal.***, v,48. P, 51-63. 2009. Disponível em: doi:<http://dx.doi.org/10.1623/hysj.48.1.51.43478>. Acesso: 14 de julho de 2023.

APÊNDICE

Figura 7- Escala de Beaufort.

Grau	Designação	nós	km/h	m/s	Aspecto do mar	Efeitos em terra
0	<i>Calmaria</i>	<1	<2	<1	Espelhado	Fumaça sobe na vertical
1	<i>Bafagem</i>	1 a 3	2 a 6	1 a 2	Pequenas rugas na superfície do mar	Fumaça indica direcção do vento
2	<i>Aragem</i>	4 a 6	7 a 11	2 a 3	Ligeira ondulação sem rebentação	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	<i>Fraco</i>	7 a 10	13 a 19	4 a 5	Ondulação até 60 cm, com alguns <i>carneiros</i>	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	<i>Moderado</i>	11 a 16	20 a 30	6 a 8	Ondulação até 1.5 m, <i>carneiros</i> frequentes	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	<i>Fresco</i>	17 a 21	31 a 39	9 a 11	Ondulação até 2.5 m, muitos <i>carneiros</i>	Movimentação de árvores pequenas; superfície dos lagos ondula
6	<i>Muito Fresco</i>	22 a 27	41 a 50	11 a 14	Ondas grandes até 3.5 m; borrifos	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda chuva aberto
7	<i>Forte</i>	28 a 33	52 a 61	14 a 17	Mar revolto até 4.5 m com espuma e borrifos	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	<i>Muito Forte</i>	34 a 40	63 a 74	17 a 21	Mar revolto até 7.5 m com rebentação e faixas de espuma	Quebram-se galhos de árvores; circulação de pessoas difícil
9	<i>Duro</i>	41 a 47	76 a 87	21 a 24	Mar revolto até 9 m; borrifos afectam visibilidade	Danos em árvores; impossível andar contra o vento
10	<i>Muito Duro</i>	48 a 55	89 a 102	25 a 28	Mar revolto até 12 m; superfície do mar branca	Árvores arrancadas; danos na estrutura de construções
11	<i>Tempestade</i>	56 a 63	104 a 117	29 a 32	Mar revolto até 14 m; pequenos navios sobem nas vagas	Estragos abundantes em telhados e árvores
12	<i>Furacão</i>	>64	>119	>33	Mar todo de espuma; visibilidade nula	Grandes estragos

Fonte: <https://companhiadaescalada.com.br/secao-tecnica/artigo-dicas-tecnicas-escalada/escala-de-beaufort/>

Figura 8 - Velocidade do Vento média mensal (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

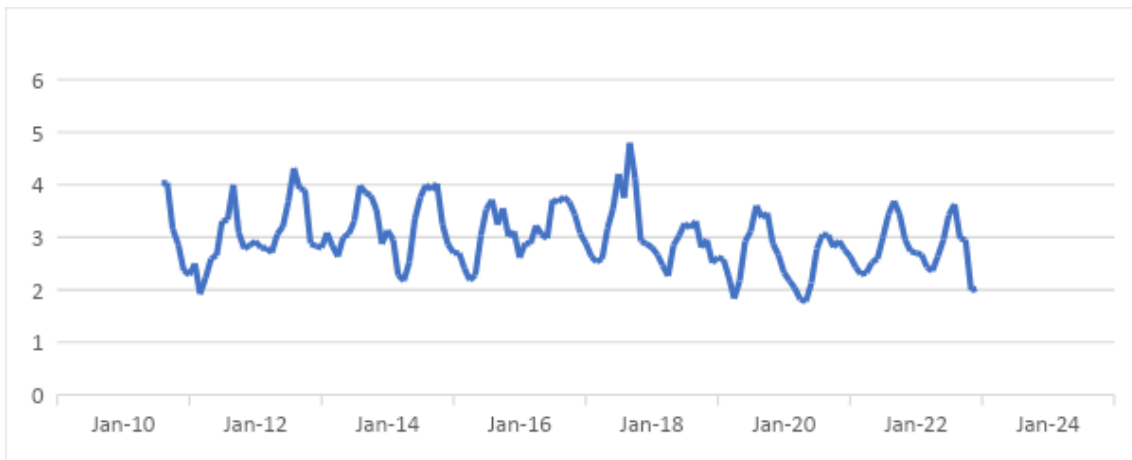


Figura 9 - Velocidade do Vento valor máximo mensal (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

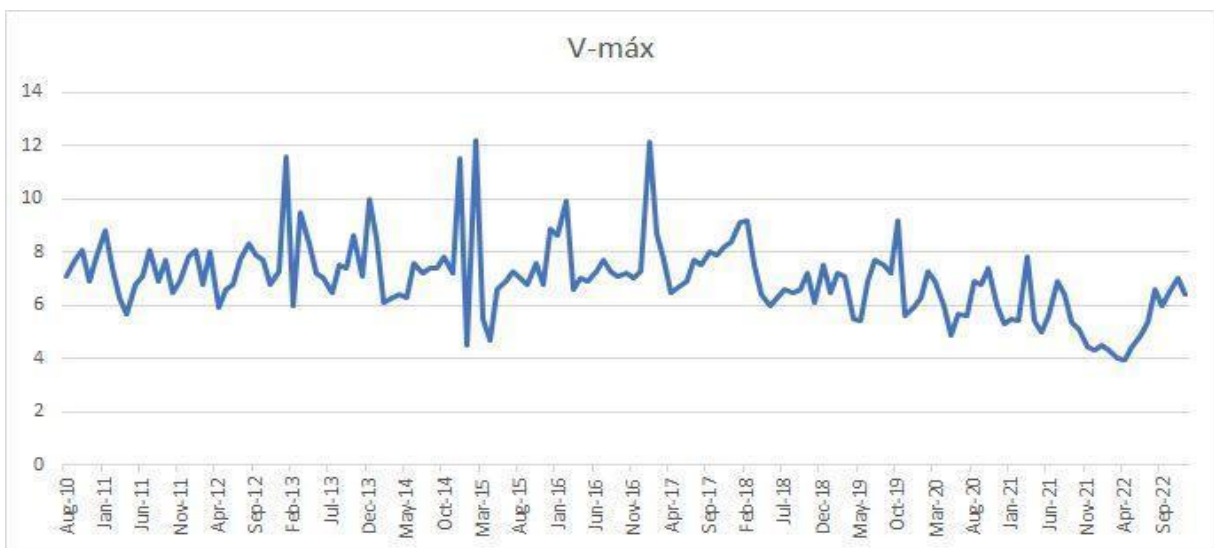


Figura 10 - Vento Velocidade média por estação (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.



Figura 11 - Vento Velocidade máxima por estação climática (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.



Figura 12 - Vento Velocidade média anual (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

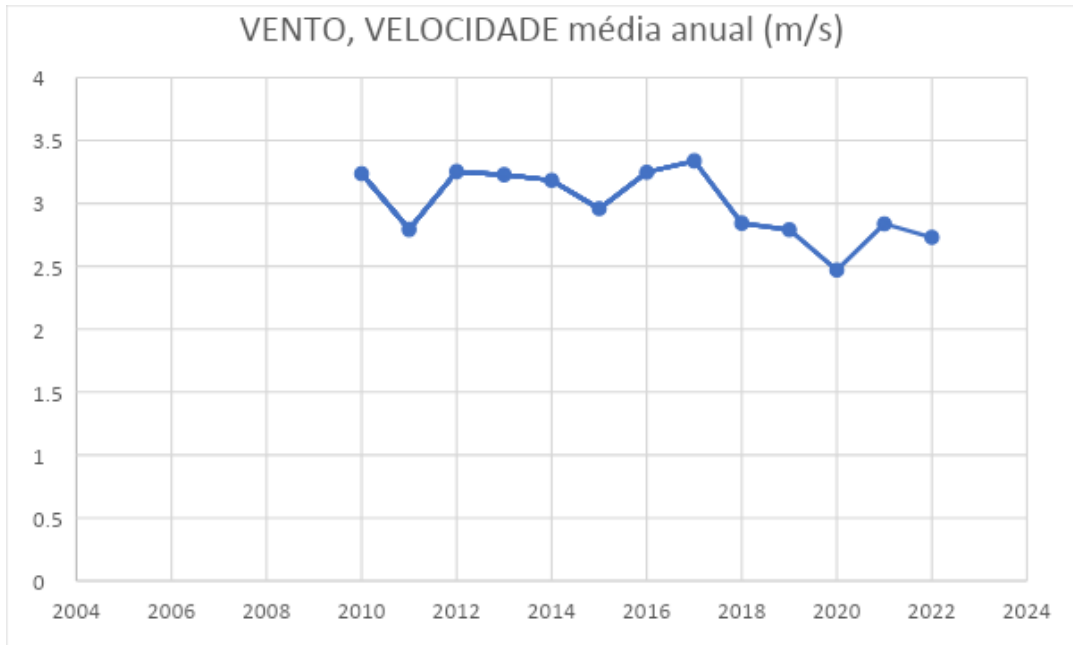


Figura 13 - Vento Valor máximo anual (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

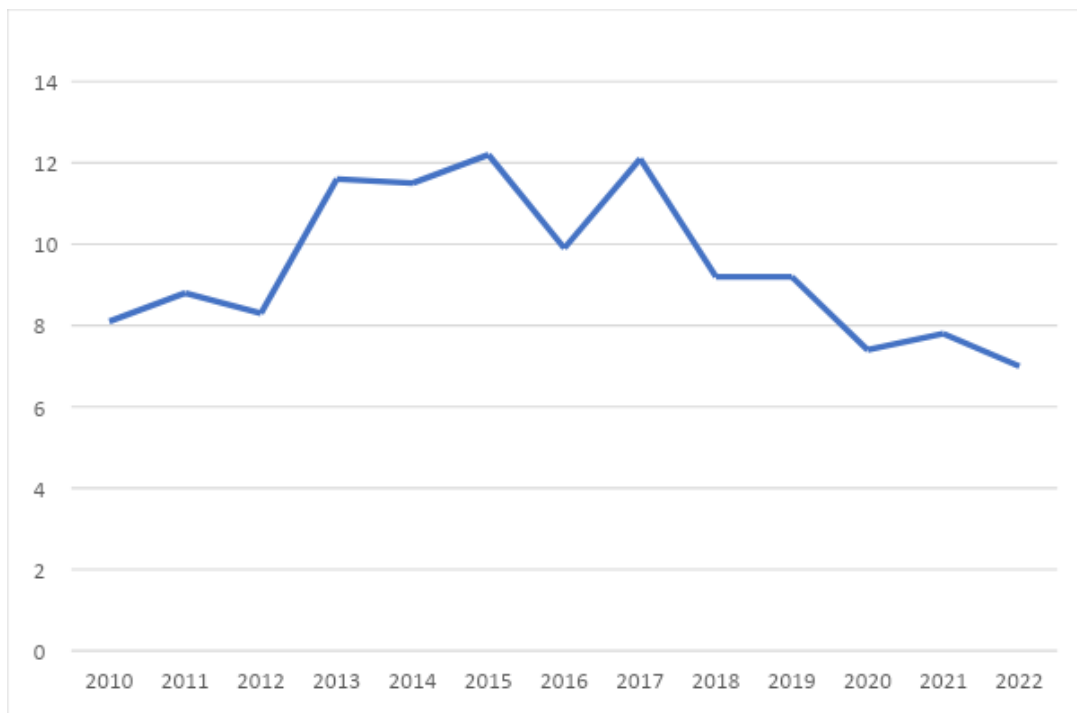


Tabela 1 - Estatística descritiva dos valores horários EMA A366 / Série.

UTC	n	Mínimo	Máximo	Média	DP	CV
0	4526	0,10	9,20	2,22	1,18	53%
1	4526	0,10	8,00	2,33	1,23	53%
2	4526	0,10	9,90	2,42	1,33	55%
3	4526	0,10	7,60	2,50	1,34	54%
4	4526	0,10	8,20	2,56	1,28	50%
5	4526	0,10	8,30	2,56	1,21	47%
6	4526	0,20	6,90	2,51	1,11	44%
7	4526	0,10	7,00	2,42	1,07	44%
8	4526	0,20	6,80	2,33	1,03	44%
9	4526	0,10	6,60	2,29	1,03	45%
10	4526	0,10	7,40	2,92	1,18	40%
11	4526	0,20	7,80	3,54	1,20	34%
12	4526	0,30	7,70	3,77	1,22	32%
13	4526	0,50	7,40	3,83	1,21	32%
14	4526	0,40	7,70	3,84	1,19	31%
15	4526	0,60	7,70	3,76	1,16	31%
16	4526	0,30	7,80	3,71	1,18	32%
17	4526	0,50	8,10	3,70	1,15	31%
18	4526	0,40	11,60	3,67	1,16	31%
19	4526	0,40	8,60	3,65	1,15	32%
20	4526	0,20	12,20	3,53	1,19	34%
21	4526	0,10	11,50	2,88	1,16	40%
22	4526	0,10	8,50	2,41	1,10	46%
23	4526	0,10	9,10	2,22	1,15	52%

* DP: Desvio Padrão/CV: Coeficiente de variação

Tabela 2 - Tendência da Velocidade média do vento por hora (m/s) EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

Hora UTC	Hora BSB	Z modificado	P.v modificado	Sen's Slope
0	21:00	- 2,65	0,01	- 0,00
1	22:00	- 1,49	0,13	-----
2	23:00	- 1,19	0,23	-----
3	00:00	- 1,50	0,13	-----
4	01:00	- 1,55	0,12	-----
5	02:00	- 1,96	0,05	- 0,00
6	03:00	- 2,44	0,01	- 0,00
7	04:00	- 2,15	0,03	- 0,00

8	05:00	-	1,32	0,19	-----
9	06:00	-	1,25	0,21	-----
10	07:00	-	3,00	0,00	- 0,00
11	08:00	-	4,21	0,00	- 0,00
12	09:00	-	5,07	0,00	- 0,00
13	10:00	-	4,94	0,00	- 0,00
14	11:00	-	4,27	0,00	- 0,00
15	12:00	-	4,20	0,00	- 0,00
16	13:00	-	4,38	0,00	- 0,00
17	14:00	-	4,66	0,00	- 0,00
18	15:00	-	4,32	0,00	- 0,00
19	16:00	-	4,68	0,00	- 0,00
20	17:00	-	5,73	0,00	- 0,00
21	18:00	-	4,02	0,00	- 0,00
22	19:00	-	4,21	0,00	- 0,00
23	20:00	-	3,54	0,00	- 0,00

Tabela 3- Velocidade média do vento - Valores mensais - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

Mês	n	Mínimo	Máximo	Média	DP	CV
1	8928	0,10	12,10	2,70	1,15	42%
2	8136	0,10	12,20	2,67	1,18	44%
3	8928	0,20	9,50	2,43	1,15	47%
4	8640	0,10	8,30	2,36	1,15	49%
5	8928	0,10	7,20	2,64	1,25	47%
6	8640	0,10	7,60	2,95	1,29	44%
7	8928	0,10	8,10	3,42	1,37	40%
8	9432	0,20	8,30	3,66	1,33	36%
9	9360	0,20	8,00	3,68	1,38	37%
10	9672	0,20	9,20	3,44	1,36	39%
11	9360	0,20	8,20	2,95	1,22	41%
12	9672	0,10	11,50	2,73	1,21	44%

* DP: Desvio Padrão/CV: Coeficiente de variação

Tabela 4 - Tendência da velocidade média do vento por mês (m/s) EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

Mês	Z modificado	P.v modificado	Sen's Slope
1	-0,48	0,63	----
2	-4,94	0,00	0,00
3	-0,96	0,34	----
4	-2,25	0,02	0,00
5	-3,38	0,00	0,00
6	-2,11	0,04	0,00
7	-2,45	0,01	0,00
8	-6,61	0,00	0,00
9	-7,66	0,00	0,00
10	-2,84	0,00	0,00
11	-2,79	0,01	0,00
12	-1,83	0,07	-----

Tabela 5 - Velocidade do vento -Valores Sazonais - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

Estação	n	Mínimo	Máximo	Média	DV	CV
Inverno	28128	0,10	8,30	3,56	1,37	38%
Outono	26784	0,10	8,30	2,57	1,23	48%
Primavera	28080	0,10	10,00	3,11	1,31	42%
Verão	25632	0,10	12,20	2,64	1,17	44%

*DP: Desvio Padrão / CV: Coeficiente de variação

Tabela 6 - Tendência da velocidade média do vento por estação (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

Mês	Z modificado	P.v modificado	Sen's Slope
Inverno	-5,93	0,00	0,00
Outono	-2,05	0,04	0,00
Primavera	-3,28	0,00	0,00
Verão	-2,23	0,03	0,00

Tabela 7 - Velocidade média do vento por ano (m/s) EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

Ano	média	Máximo	Mínimo
2011	2,79	8,8	0,1
2012	3,25	8,3	0,1
2013	3,23	11,6	0,1
2014	3,18	11,5	0,1
2015	2,96	12,2	0,2
2016	3,25	9,9	0,2
2017	3,34	12,1	0,1
2018	2,84	9,2	0,2
2019	2,79	9,2	0,2
2020	2,47	7,4	0,1
2021	2,84	7,8	0,2
2022	2,73	7	0,2

Figura 14 - Vento Velocidade média por estação (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.



Figura 15 - Vento Velocidade máxima por estação climática (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.



Tabela 8 - Tendência da velocidade média do vento por estação (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

Mês	Z modificado	P.v modificado	Sen's Slope
Inverno	-5,93	0,00	0,00
Outono	-2,05	0,04	0,00
Primavera	-3,28	0,00	0,00
Verão	-2,23	0,03	0,00

Tabela 9 - Velocidade média do vento por ano (m/s) EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

Ano	média	Máximo	Mínimo
2011	2,79	8,8	0,1
2012	3,25	8,3	0,1
2013	3,23	11,6	0,1
2014	3,18	11,5	0,1
2015	2,96	12,2	0,2
2016	3,25	9,9	0,2
2017	3,34	12,1	0,1
2018	2,84	9,2	0,2
2019	2,79	9,2	0,2
2020	2,47	7,4	0,1
2021	2,84	7,8	0,2
2022	2,73	7	0,2

Figura 16 - Vento Velocidade média anual (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

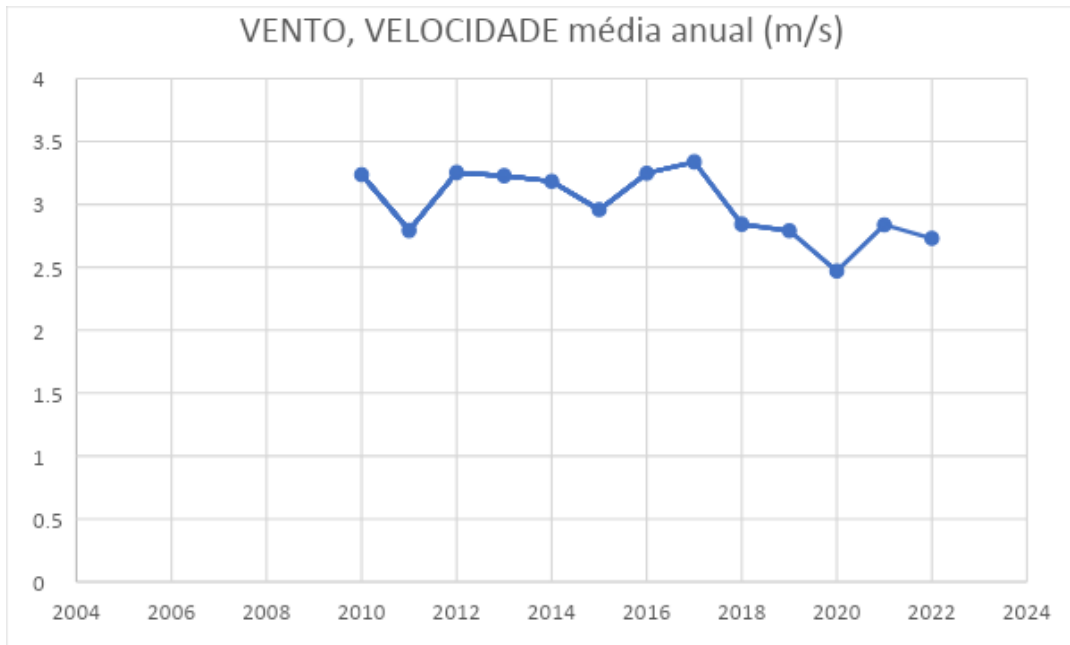


Figura 17- Vento Valor máximo anual (m/s) - EMA A366 / Série Temporal 2011-2022.

