



Evento: XXVI Jornada de Pesquisa

## MODELAGEM DA DIREÇÃO DO VENTO UTILIZANDO A DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DE VON MISES

### MODELING WIND DIRECTION USING VON MISES PROBABILITY DISTRIBUTION

**Cíntia Morales Camillo**

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação Educação em Ciências

**Karine Gehrke Graffunder**

Mestranda no Programa de Pós-Graduação Educação em Ciências

#### RESUMO

O ajuste de modelos estatísticos aos dados de direção do vento possibilita conhecer com detalhes o potencial da energia eólica de um determinado local, representando um dado relevante na seleção da localização para novas instalações de parques eólicos. Para tal, este estudo objetivou realizar uma análise estatística por meio da Distribuição de Probabilidade Circular de Von Mises sobre a direção do vento, na cidade de Santa Maria, nos últimos cinco anos (2016, 2017, 2018, 2019 e 2020), utilizando-se o banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia, com a finalidade de projetar qual a localidade ideal para um parque eólico. Verificou-se que a direção predominante do vento, em sua maior parte sopra do Sudeste e, em alguns momentos do Leste, indicando que essa direção implica em obter benefícios para a geração de energia eólica. Afirma-se, também, que a análise estatística circular é significativamente importante para tomadas de decisão.

**Palavras-chave:** Energia Eólica. Estatística Circular. Meio Ambiente. Modelos Estatísticos. Parque Eólico.

#### ABSTRACT

The adjustment of statistical models to the wind direction data makes it possible to know in detail the wind energy potential of a given location, representing a relevant data in the selection of the location for new installations of wind farms. To this end, this study aimed to perform a statistical analysis through the Von Mises Circular Probability Distribution on the wind direction in the city of Santa Maria, in the last five years (2016, 2017, 2018, 2019 and 2020), using the database of the National Institute of Meteorology, with the purpose of projecting the ideal location for a wind farm. It was found that the predominant wind direction, mostly blows from the Southeast and, at times, from the East, indicating that this direction implies obtaining benefits for the generation of wind energy. It is also stated that circular statistical analysis is significantly important for decision making.

**Keywords:** Wind Energy. Circular Statistics. Environment. Statistical Models. Wind Farm.



## INTRODUÇÃO

O vento, como fonte energética limpa e inesgotável, tornou-se nas últimas décadas objeto de estudo para o aproveitamento na geração de energia eólica. Segundo Guignard et al. (2019), estudos sobre o uso do vento para a geração de energia são importantes devido ao crescimento da população em escala mundial. É necessário investimentos em fontes energéticas para suprir a demanda de energia convencional, além de ser uma fonte que não gera poluição ambiental.

Santos et al. (2020) consideram ainda que este tipo de energia contribui para a diminuição no aquecimento global. Segundo estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), existe em todo o mundo uma grande comoção e esforço para desenvolver estudos em que a Ciência, por meio de recursos naturais, gere energia e diminua o processo de aquecimento global (BRASIL, 2018).

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), no ano de 2021, contou com 8,3 mil aerogeradores em 695 parques eólicos, o que gerou inclusive aumento no índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) e no Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios que possuem parques eólicos (ABEEÓLICA, 2021). Ainda, segundo a ABEEólica (2021), o Brasil se destaca perante o mundo pela sua boa qualidade de ventos, o que gera economia e energia limpa.

O estado do Rio Grande do Sul (RS) possui 80 parques eólico, perdendo apenas para três estados do Nordeste em relação a qualidade do vento. Acredita-se que quanto mais parques eólicos no estado, melhor é para a economia e para a geração de energia limpa. Perante o exposto, percebe-se que a modelagem quantitativa estatística que estuda a direção do vento possibilita conhecer detalhes do potencial de locais apropriados para a geração de energia eólica, sinalizando a localização para novas instalações eólicas.

Para Freitas (2016, p. 45) “os métodos de estatística circular têm sido utilizados em diversas áreas, em que se verificam ocorrências aleatórias de natureza cíclica, nomeadamente: na astronomia, demografia, geologia, geografia, meteorologia, biologia, entre outras”. Sendo assim, a estatística circular se mostra um excelente método para verificar a modelagem da direção do vento. Diante disso, é preciso considerar dois tipos de distribuição quando se utiliza a estatística circular, se ela é uniforme ou não-uniforme. Para este estudo, adotou-se a Distribuição de Von Mises, que segue uma distribuição uniforme linear.



Em conformidade com os pressupostos apresentados, este estudo objetivou realizar uma análise estatística por meio da Distribuição de Probabilidade Circular de Von Mises sobre a direção do vento na cidade de Santa Maria/RS, nos últimos cinco anos (2016, 2017, 2018, 2019 e 2020), com a finalidade de projetar qual a localidade ideal para um parque eólico.

## METODOLOGIA

Esta pesquisa é de cunho qualitativo por descrever os fatos e quantitativo por utilizar a modelagem quantitativa estatística, por meio da Distribuição de Probabilidade Circular de Von Mises. Para tal, os dados foram coletados junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, no período de cinco anos de observações dos horários de direção do vento circular. Na figura 1, consta a localização geográfica da cidade de Santa Maria/RS, área estratégica à produção de energia eólica e construção de um parque eólico.

Figura 1 – Mapa da localização geográfica da área de estudo, a cidade de Santa Maria/RS.



Fonte: Adaptado de INMET - Brasil (2021).

Para as análises estatísticas circulares foram utilizadas, conforme descrito em Morellato, Alberti e Hudson (2010); Bauer et al. (2012) e, Neto et al. (2017), o *software* Oriana® 4.0, no qual os dados foram convertidos em ângulos e, posteriormente, gerou-se o



histograma polar de direções, também conhecido por diagrama de rosa (*rose diagram*). Após, executou-se pelo *software* BioEstat® para cada ano a média dos cossenos, média dos senos, média angular, comprimento do vetor médio, variância angular, desvio angular e o intervalo de confiança de 95%.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Distribuição de Probabilidade Circular de Von Mises exige que antes de gerar o histograma polar de direções, algumas medidas circulares sejam conhecidas e verificadas. Para tal, calculou-se a média dos cossenos e dos senos para cada amostra referente a cada ano (2016, 2017, 2018, 2019 e 2020), a fim de obter a média angular, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Dados das medidas circulares referentes às amostras dos anos 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020

	- 1 -	- 2 -	- 3 -	- 4 -	- 5 -
Tamanho da amostra	4994	8760	4666	8760	8784
Média dos cossenos	-0.0842	-0.1436	-0.1169	-0.0865	-0.1491
Média dos senos	0.2665	0.3989	0.3816	0.4110	0.3551
Média angular	107.5306	109.7947	107.0377	101.8863	112.7822
Comprimento do Vetor Médio (R)	0.2795	0.4240	0.3991	0.4200	0.3851
Variância angular	1.4410	1.1520	1.2018	1.1599	1.2298
Desvio angular	68.7783	61.4970	62.8125	61.7071	63.5390
IC 95%	103.587 a 111.475	107.885 a 111.704	104.242 a 109.833	99.957 a 103.815	110.665 a 114.900

Fonte: Autoras.

Para obter-se a média angular, deve-se somar os senos e os cossenos dos respectivos ângulos e dividir cada um pelo número de ângulos utilizados. Dessa forma, encontra-se o x e o y, conforme as fórmulas:

$$x = \sum_{i=1}^n \cos\phi_i \quad (1)$$

$$y = \sum_{i=1}^n \sen\phi_i \quad (2)$$

Após encontrar os valores dessas incógnitas, utilizam-se as coordenadas polares para obter o valor do comprimento do vetor médio (R). O R, segundo Brighenti e Miranda (2010), descreve o grau de concentração dos ângulos cujo valor indica a direção do vetor resultante. Sendo assim, utilizando a tabela trigonométrica, acha-se o valor do ângulo médio pelas fórmulas:



$$\cos\varphi = \frac{x}{r} \quad (3)$$

$$\sin\varphi = \frac{y}{r} \quad (4)$$

Para obter-se a variância angular é necessário, primeiramente, medir a concentração dos dados existentes na amostra ( $\bar{r}$ ). Após, calcula-se a medida de dispersão denotada de variância angular ( $S_o$ ) pela fórmula:

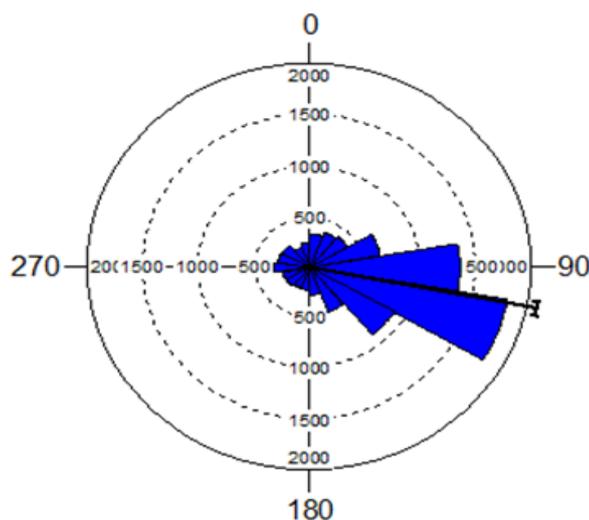
$$S_o = 1 - \bar{r}^2 = 1 - r^2/n \quad (5)$$

O desvio angular, conforme Gonçalves (2015), é uma medida de variação que compara o valor desejado ou a média com relação a amostra, e para isto, utiliza-se a transformação da variação angular, conforme:

$$s_o = [-2 \ln (1 - S_o)] = [-2 \ln (\bar{r}^2)] \quad (6)$$

Após, a realização dos cálculos de medidas circulares, prossegue-se com a construção do histograma polar de direções. Ajustando-se a Distribuição de Von Mises aos dados de direção do vento (Gráfico 1) para a cidade de Santa Maria/RS, a distribuição foi dividida em 18 setores no sentido anti-horário.

Gráfico 1 – Histograma Polar de Direções do vento na cidade de Santa Maria/RS, referente ao período de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020.



Fonte: Autoras.

Ao analisar o histograma, verificou-se que a direção predominante do vento, em sua maior parte sopra do Sudeste e, em alguns momentos do Leste. Em conformidade com Santos



et al. (2020), “as outras direções demonstraram uma dispersão aproximadamente uniforme”, indicando que a direção do vento não é distribuída uniformemente. Para tanto, em alguns momentos, as direções do vento podem ser mais frequentes do que outras.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atualidade, a geração de energia limpa e inesgotável se mostra cada vez mais importante economicamente e para a preservação do meio ambiente. Diante desse contexto, este estudo objetivou realizar uma análise estatística por meio da Distribuição de Probabilidade Circular de Von Mises sobre a direção do vento na cidade de Santa Maria/RS, nos últimos cinco anos (2016, 2017, 2018, 2019 e 2020), com a finalidade de projetar qual a localidade ideal para um parque eólico.

Os resultados das análises demonstraram que a distribuição de Von Mises se ajustou aos dados de direção do vento. O histograma polar de direção mostrou alta frequência no sentido Sudeste, indicando que essa direção implica em obter benefícios para a geração de energia eólica. Pode-se afirmar, também, que a análise estatística circular é significativamente importante para tomadas de decisão quanto à localização de parques eólicos.

Em estudos futuros, pode-se aplicar a metodologia de estatística circular de Distribuição de Probabilidade de Von Mises comparando com outros modelos de distribuições para todo estado do RS, bem como abranger uma escala maior de dados. Assim, pode-se obter a direção predominante do vento em toda região Sul, informações de cunho importante na elaboração de um projeto de instalação de um parque eólico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Estudo mostra que energia eólica tem impacto positivo no IDH e PIB de municípios**. 2021. Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/noticias/estudo-mostra-que-energia-eolica-tem-impacto-positivo-no-idh-e-pib-de-municipios/>>. Acesso em: 24 de junho de 2021.

BAUER, D. et al. Fenologia de três espécies de *Myrsine L.* em floresta secundária semidecídua no Sul do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 859-868, out. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instituto Nacional de Meteorologia**. (2021). Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 23 de junho de 2021.



BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Empresa de Pesquisa Energética**. Brasília, DF. 2018. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Mudancas%20Climaticas%20e%20Planejamento%20Energetico.pdf>>. Acesso em: 24 de junho de 2021.

BRIGHENTI, C.; MIRANDA, Y. **Distribuição Von Mises na avaliação de dados entomológicos**. 5f. Artigo científico – Universidade Federal de São João Del Rei, 2010.

FREITAS, D. T. **Modelação de mercados de energia elétrica com recurso a métodos de estatística circular**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal. 2016.

GONÇALVES, J. **Avaliação do potencial eólico para geração da energia elétrica**. 161p. Dissertação de Mestrado – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.

GUIGNARD, F. et al. **Investigating the time dynamics of wind speed in complex terrains by using the Fisher–Shannon method**. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 523, p. 611-621, 2019.

MORELLATO, L. P. C.; ALBERTI, L. F.; HUDSON, I. L. **Applications of circular statistics in plant phenology: a case studies approach**. In: HUDSON, I. L.; KEATLEY, M. *Phenological research: methods for environmental and climate change analysis*. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2010.

NETO, R. L. B. et al. Fenologia em floresta estacional decidual em Vitória da Conquista, Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 641-650, 2018.

SANTOS, F. S. et al. Modelagem da direção do vento em Patos na Paraíba utilizando a distribuição de probabilidade de von Mises. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, e38491211261, 2020.