

**Análise da regularidade da velocidade do vento no Nordeste do Brasil através da Sample**

**Entropy**

**Analysis of the regularity of wind velocity in Northeast Brazil through Sample Entropy**

**Análisis de la regularidad de la velocidad del viento en el noreste de Brasil utilizando**

**Entropía de muestra**

Recebido: 20/05/2020 | Revisado: 23/05/2020 | Aceito: 27/05/2020 | Publicado: 11/06/2020

**Lêda Valéria Ramos Santana**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5704-8756>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: ledaestatistica@gmail.com

**Tatijana Stosic**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-945X>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: tastosic@gmail.com

**Tiago Alessandro Espínola Ferreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2131-9825>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: taef.first@gmail.com

**Antonio Samuel Alves da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-0036>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: samuelmathematical@gmail.com

**Resumo**

O uso de fontes renováveis tem crescido mundialmente e, no Brasil o incentivo ao uso de energia eólica tem sido ampliado de forma expressiva. O maior potencial eólico do país concentra-se no Nordeste (NE). O objetivo deste trabalho é medir o grau de regularidade ou a previsibilidade da velocidade do vento sobre o NE do Brasil através do método de entropia Sample Entropy. As análises foram realizadas a partir das séries históricas da reanálise ERA-

40, disposta sobre uma grade mundial com resolução espacial de  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  em registros realizados a 10 m do solo durante as 00, 06, 12 e 18h durante o período de 1957 a 2001. Além das quatro horas sinóticas, foram também geradas séries diárias, mensais e sazonais. Os resultados mostraram que as regiões de maior velocidade do vento também apresentam melhor previsibilidades para as séries. Além de indicar que áreas distintas com comportamento das médias da velocidade do vento semelhantes podem apresentar previsibilidade diferentes.

**Palavras-chave:** Regularidade; Velocidade do vento; Nordeste.

### **Abstract**

The use of renewable sources has grown worldwide and in Brazil the incentive to use wind energy has been significantly expanded. The country's largest wind potential is concentrated in the Northeast (NE). The objective of this work is to measure the degree of regularity or predictability of wind velocity over Brazilian NE through the Sample Entropy method. The analyzes were carried out from the historical series of the ERA-40 reanalysis, arranged on a world grid with spatial resolution of  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  in records made at 10 m from the ground during the 00, 06, 12 and 18h during the period from 1957 to 2001. In addition to the four synoptic hours, daily, monthly and seasonal series were also generated. The results showed that the regions with higher wind speeds also present better predictability for the series. In addition, indicate that different areas with similar wind speed averages may have different predictability.

**Keywords:** Regularity; Wind speed; Northeast.

### **Resumen**

El uso de fuentes renovables ha crecido en todo el mundo y, en Brasil, el incentivo para utilizar la energía eólica se ha ampliado significativamente. El mayor potencial eólico del país se concentra en el noreste (NE). El objetivo de este trabajo es medir el grado de regularidad o la previsibilidad de la velocidad del viento sobre el NE de Brasil a través del método de entropía de muestra de entropía. Los análisis se llevaron a cabo a partir de la serie histórica del reanálisis ERA-40, organizados en una cuadrícula mundial con resolución espacial de  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  en registros realizados a 10 m del suelo durante 00, 06, 12, 18h durante el período de 1957 a 2001. Además de las cuatro horas sinóticas, también se generaron series diarias, mensuales y estacionales. Los resultados mostraron que las regiones con mayor velocidad del viento también tienen una mejor previsibilidad para la serie. Además, suponen que diferentes

áreas con promedios de velocidad del viento similares pueden tener una previsibilidad diferente.

**Palabras clave:** Regularidad; Velocidad del viento; Noreste.

## 1. Introdução

A energia renovável obtida do vento encontra-se em constante expansão no mundo e incentivos às pesquisas crescem através de incentivos governamentais e não governamentais. A energia eólica é também, um recurso limpo e abundante que atingiu escala comercial na década de 70 com a crise internacional do petróleo, recebendo incentivos para viabilizar o seu desenvolvimento (ANEEL, 2005). A diminuição nos custos de mercado, também contribui para incorporação da energia eólica em diversos sistemas elétricos. Portanto, o estudo sobre o mecanismo de adequação de recurso e capacidade de fornecimento auxilia na representação dos benefícios técnicos e ambientais promovidos pelo uso da fonte eólica (Herrera & Watts, 2012).

Segundo o relatório do The Global Wind Energy Council (2019), a capacidade de energia eólica mundial instalada no final do ano de 2019 foi de 60.4 Gigawatts (GW). A China é o país com maior capacidade mundial, 230 GW, e conjuntamente com os Estados Unidos representam 60% da capacidade mundial. O Brasil ocupa a oitava posição no grupo dos países com capacidade instalada (15,4 GW), fato que o fez líder do mercado latino americano em energia eólica (GWEC, 2019).

No Brasil a região Nordeste (NE) detém o maior potencial eólico do país (80%) e possui um dos melhores ventos do mundo, colocando-o em posição de destaque no cenário mundial. Além de, ser favorecida pela complementaridade sazonal do regime de ventos com os fluxos hidrológicos nos reservatórios hidrelétricos, com maior velocidade do vento no período de estiagem quando os níveis dos reservatórios baixam (ABEEólica, 2020; GWEC, 2019).

O NE sofre a influência de sistemas de escala planetária ou macroescala como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), assim como, dos sistemas de mesoescala que fazem referência aos fenômenos locais como as linhas de instabilidade e, dos sistemas de microescalas (Ferreira & da Silva, 2005). As distintas ações nos sistemas exercidas pelo relevo continental, radiação solar, ação periódica irregular das massas de ar polares, extensa faixa litorânea, entre outros, são aspectos que contribuem para a biodiversidade que está intrinsecamente relacionada à variabilidade do vento na região (Oliveira & Costa, 2011;

Amarante et al, 2001).

Os efeitos dos padrões de Temperatura da Superfície do Mar como as anomalias El Niño e La Niña na região Nordeste do Brasil, interferem diretamente na velocidade do vento. O El Niño tem efeito positivo sobre a velocidade do vento, com maior diferença de velocidade de vento no mês de abril, enquanto, no mês de setembro a intensidade dos ventos alísios diminui. Comportamento contrário ocorre durante a La Niña, que contribui na intensidade dos ventos alísios no mês de setembro e desfavorece a velocidade do vento em abril (Lima, et al., 2014). Essas características também foram identificadas em estudo da velocidade do vento em quatro áreas aeroportuárias distintas nos Estados Unidos (Harper, et al., 2007).

A caracterização do regime dos ventos no estado do Piauí por meio do perfil da velocidade média horária e mensal dos ventos identifica três grupos com características de perfil do vento distintas. Portanto, os municípios de Paulistana e Parnaíba se destacam por apresentarem valores de velocidade média horária e mensal do vento consideradas adequadas para o aproveitamento de energia elétrica, através de dados das estações do INMET (Lira et al., 2017).

A predição para médias mensais da velocidade do vento em regiões do NE brasileiro mostra que nas cidades de Fortaleza (CE), Parnaíba (PI) e São Luís (MA) existe maior semelhança nos registros entre máximos e mínimos da velocidade do vento quando comparados os valores preditos e observados da velocidade do vento local (Camelo et al. 2016).

A avaliação estatística do potencial eólico para os municípios de Maracanaú (CE), Petrolina (PE) e Parnaíba (PI) no NE, identifica melhor potencial eólico na Parnaíba (PI) e em Petrolina (PE). Estas cidades também apresentam maior regularidade no comportamento dos ventos, com destaque para Petrolina (PE) (Carneiro & de Carvalho, 2015).

Diante dos diferentes estudos sobre a velocidade do vento no NE. O objetivo deste trabalho é medir o grau de regularidade ou a previsibilidade da velocidade do vento sobre o NE do Brasil através do método de entropia Sample Entropy.

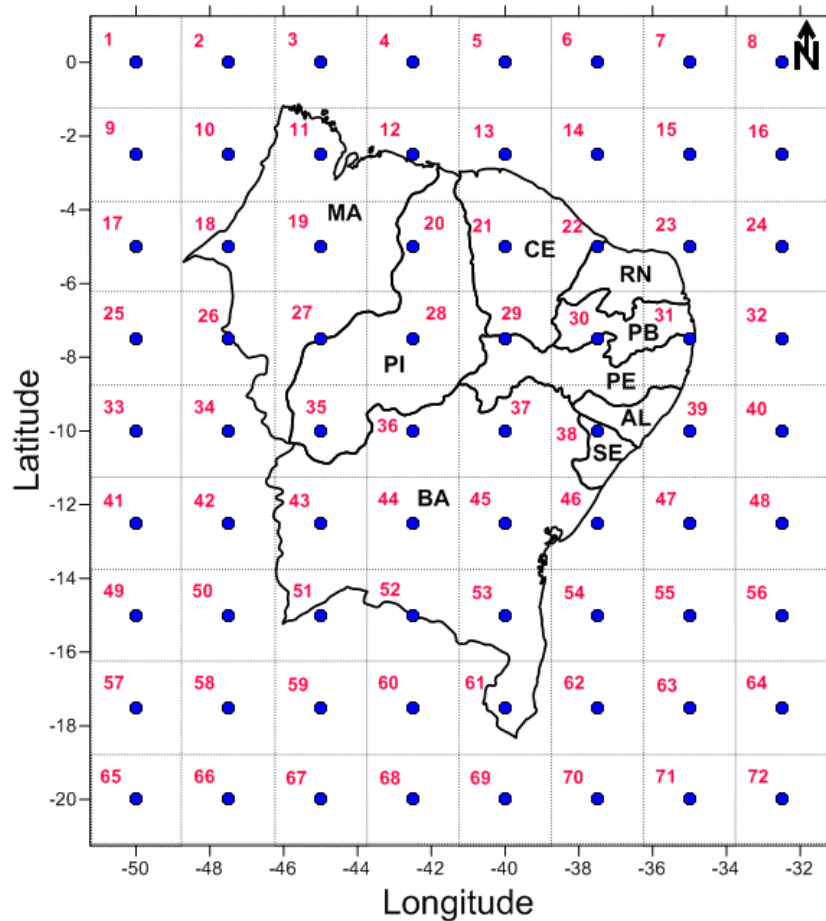
## **2. Metodologia**

Os dados utilizados são séries temporais das componentes zonal (u) e meridional (v) da reanálise ERA-40 disponibilizados pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/era40daily/levtype%3Dsfc/>). Os

registros disponíveis abrangem um período de 45 anos e cobrem toda a superfície terrestre em células com resolução de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  (lat/long), a uma altura de 10 metros do solo.

A Figura 1, apresenta as 72 células da reanálise ERA-40 sobre o Nordeste brasileiro distribuídas de forma uniforme.

**Figura 1.** Grade da ERA-40 sobre a região Nordeste do Brasil, composta por 72 células ou pontos de grade.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na Figura 1, a grade da ERA-40 abrange o Nordeste brasileiro, localizado entre os meridianos  $48^\circ 05' W$  a  $35^\circ 02' W$  e paralelos  $1^\circ S$  a  $18^\circ 05' S$ , através de 72 células cada uma com resolução  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ . A região é composta por nove estados, Bahia (BA), Sergipe (SE), Alagoas (AL), Pernambuco (PE), Paraíba (PB), Rio Grande do Norte (RN), Ceará (CE), Piauí (PI) e Maranhão (MA), todos os estados limita-se com o oceano Atlântico.

A partir das variáveis selecionadas a velocidade escalar do vento foi obtida pela expressão:

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

## Sample Entropy

A Sample Entropy é definida como a probabilidade condicional de que duas sequências similares (dentro de um nível de tolerância  $r$ ), para  $m$  pontos, permaneçam similares para  $m + 1$  pontos (Richman & Moorman, 2000).

Seja  $x(1), \dots, x(N)$  uma série temporal de tamanho  $N$ , o algoritmo o cálculo da  $SampEn(m, r, N)$  é descrito da seguinte forma:

1. Construção de  $N + m - 1$  vetores  $x(1), x(2), \dots, x(N + m - 1)$ , definindo  $x(i)$  de acordo com a Equação:

$$x(i) = [x(i), x(i + 1), \dots, x(i + m - 1)], \quad (2)$$

em que  $m$  é o comprimento do vetor,  $i = 1, \dots, N - m + 1$ .

2. Define-se da distância  $d$  entre os vetores  $x(i)$  e  $x(j)$ , como a máxima diferença absoluta entre seus elementos escalar correspondente, em que:

$$d[x(i), x(j)] = \max_{k=0, m-1} [|x(i+k) - x(j+k)|] \quad (3)$$

3. Para cada  $i = 1, \dots, N - m$ , calcula a probabilidade da ocorrência do padrão  $i$ , de tamanho  $m$ , dada uma tolerância  $r$  de combinação, para  $x_m(i) \neq x_m(j)$  garantindo que não haverá autocontagem.

$$B_i^m(r) = \frac{\text{número de } d \leq r}{N - m - 1} \quad (4)$$

$$A_i^{m+1}(r) = \frac{\text{número de } d \leq r}{N - m - 1} \quad (5)$$

4. Calcula-se a probabilidade de que duas sequências sejam similares para  $m$  pontos ( $B^m(r)$ ) e  $m + 1$  pontos ( $A^{m+1}(r)$ ).

$$B^m(r) = \frac{1}{N - m} \left( \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r) \right) \quad (6)$$

$$A^{m+1}(r) = \frac{1}{N - m} \left( \sum_{i=1}^{N-m} A_i^{m+1}(r) \right) \quad (7)$$

5. Por fim, calcula-se o índice Sample Entropy:

$$SampEn(m, r, N) = -\ln \left( \frac{A^{m+1}(r)}{B^m(r)} \right) \quad (8)$$

### ***Inverse Distance Weighting***

O Inverse Distance Weighting (IDW) é um método de interpolação proposto por Shepard (1968). O IDW foi utilizado para espacialização dos resultados obtidos sobre o NE, corroborando nas análises. Os mapas foram confeccionados no software R (Team, 2020). A expressão matemática do IDW é dada pela equação,

$$\hat{Z}_{s_0} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{(s_i)} \quad (9)$$

em que  $\hat{Z}_{s_0}$  é o valor estimado para cada local  $s_0$ ,  $N$  é o número de pontos observados,  $Z_{(s_i)}$  é o valor observado e  $\lambda_i$  é o peso atribuídos a  $i$  – ésima localidade. O peso é determinado pelas equações:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_i^N d_{i0}^{-p}} \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1, \quad (11)$$

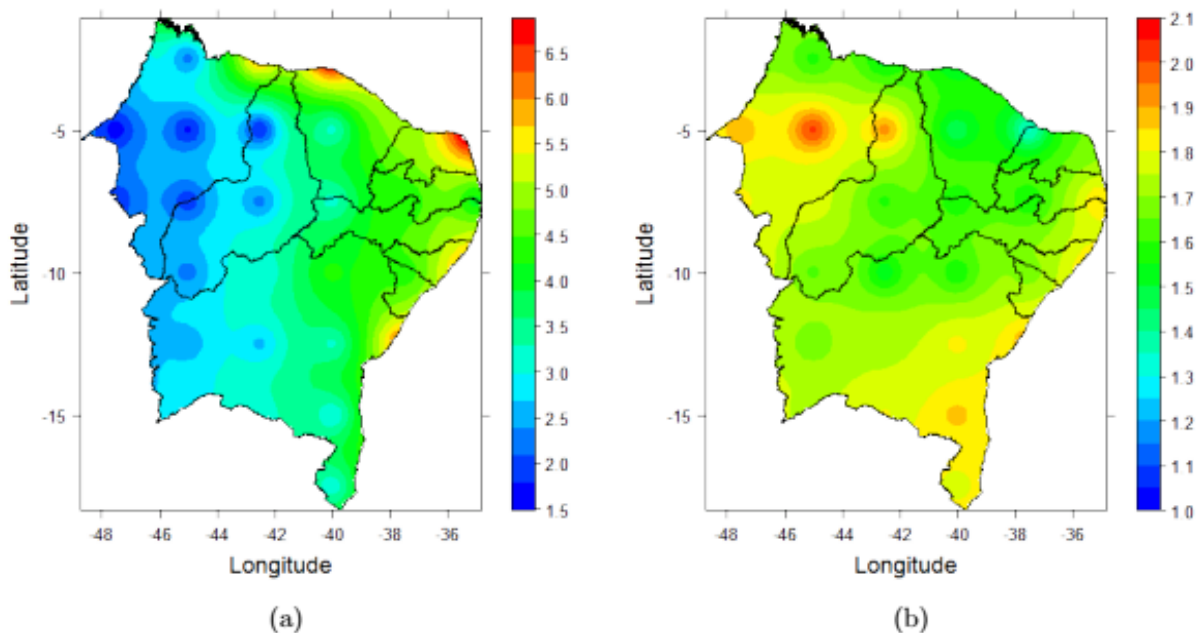
em que  $d_{i0}$  é a distância entre o local de previsão  $s_0$  e os locais medidos  $s_i$ . Os pesos atribuídos aos dados terão soma igual a 1.

### 3. Resultados e Discussão

Os valores da Sample Entropy obtidos para as séries horária, diária e mensal foram calculados com parâmetros:  $m = 2$  e  $r = 0,2$ , e sazonal com  $r = 0,4$ , pois para valores de  $r$  inferiores há coordenadas que não conseguem identificar padrões similares (Pincus, 1991).

Na Figura 2, nota-se que a média da velocidade do vento (Figura 2 (a)) varia entre 2 e 7  $m.s^{-1}$  e Sample Entropy (Figura 2 (b)) entre 1 e 2, durante às 00h.

**Figura 1.** Média (a) e Sample Entropy (b) para série da velocidade do vento às 00h da ERA-40 sobre o NE brasileiro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

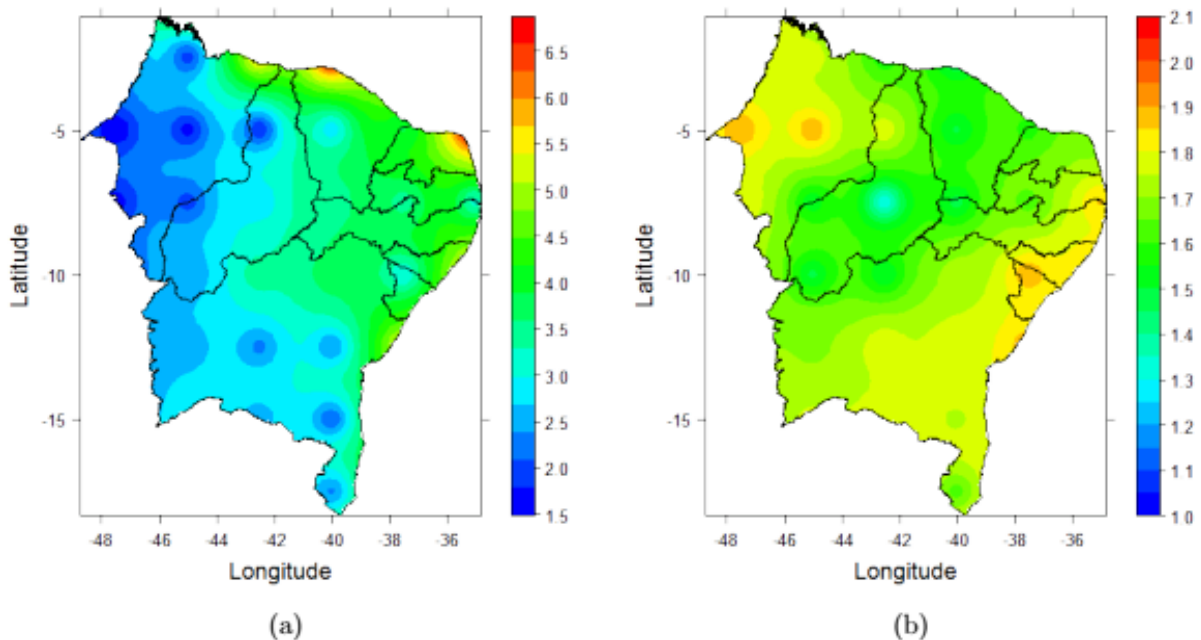
Percebe-se que as áreas com maior média de velocidade do vento, representadas pelas cores nos tons amarelo e vermelho, (Figura 2 (a)) estão sobre o Norte do NE, enquanto os menores valores de Sample Entropy (Figura 2 (b)) são observados na mesma região. Estas características favorecem a produção de energia eólica, pois apresentam altos valores de



velocidade média do vento e baixos valores de Sample Entropy, indicando alta regularidade e maior previsibilidade da velocidade do vento. O fato desta região revelar características favoráveis a produção de energia eólica é confirmada pelas torres já instaladas e em funcionamento nos estados do CE e RN. Estas características são importantes em estudos relacionados ao comportamento do vento, uma vez que os registros da sua velocidade do vento podem tornar-se previsíveis nestes locais às 00h.

Na Figura 3, são apresentadas média (Figura 3 (a)) e a Sample Entropy (Figura 3 (b)) para série da velocidade do vento durante às 06h.

**Figura 2.** Média (a) e Sample Entropy (b) para série da velocidade do vento às 06h da ERA-40 sobre o NE brasileiro.

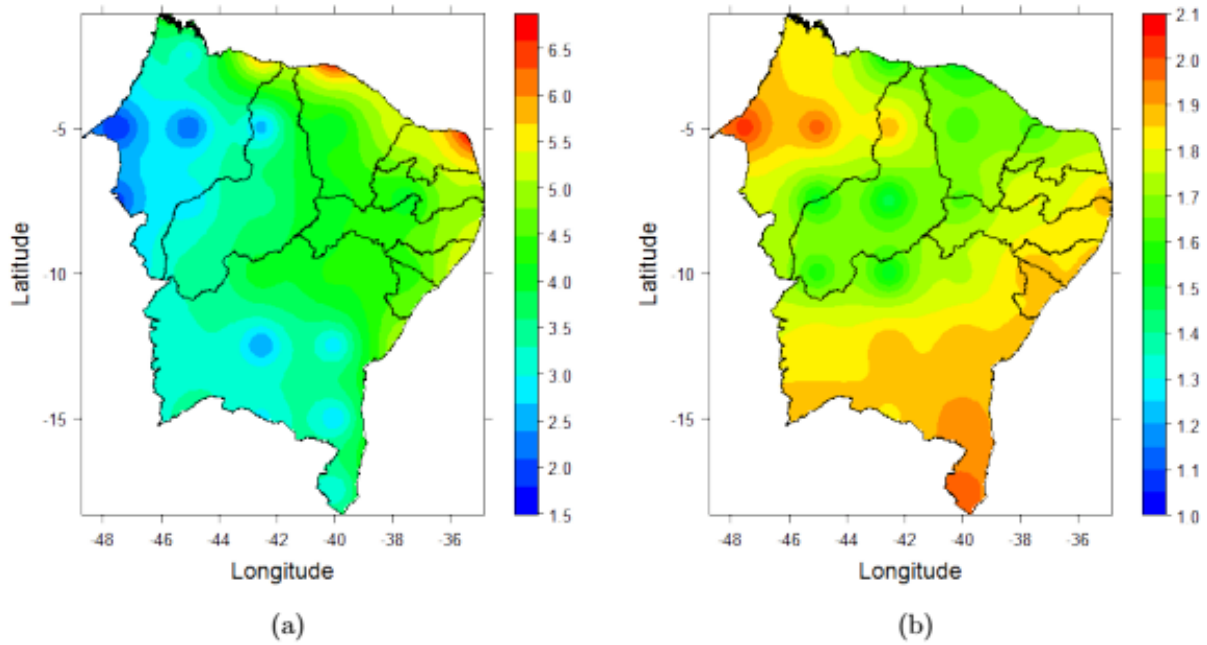


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A média da velocidade do vento (Figura 3 (a)) durante às 06h tem valores variando até 3 m.s<sup>-1</sup> na parte Oeste e Sul do NE, enquanto os valores de Sample Entropy (Figura 3 (b)) prevalecem em torno de 1,6 no Norte e sobre os estados do CE e PI, enfatizando o valor da Sample Entropy no centro do PI, uma área que embora tenha média menor, apresenta velocidade do vento mais previsível às 06h. No Oeste do NE, a velocidade do vento diminui durante às 06h e, a Sample Entropy aponta regularidade baixa. Portanto, os extremos do RN e CE onde a velocidade do vento atinge 6,5 m.s<sup>-1</sup> são locais mais previsíveis com entropia moderada.

A Figura 4 apresenta a média (a) entre 1,5 e 6,5 m.s<sup>-1</sup> sobre o NE e, os valores de Sample Entropy (b) da velocidade do vento às 12h.

**Figura 3.** Média (a) e Sample Entropy (b) para série da velocidade do vento às 12h da ERA-40 sobre o NE brasileiro.



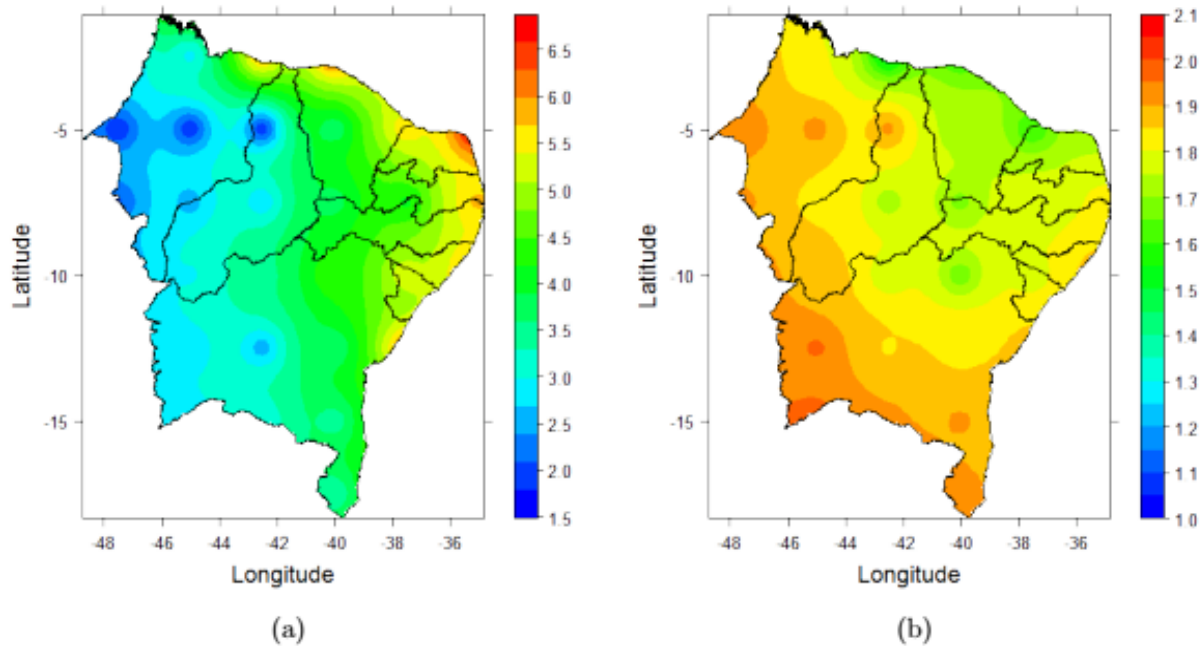
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na Figura 4(b) os altos valores de Sample Entropy, implicam em uma menor previsibilidade da velocidade do vento no Litoral Leste e no estado do MA. Enquanto, nos estados do CE e RN o valor de Sample Entropy é moderado e a média de velocidade do vento são mais regulares no período das 12h, variando entre 6 e 6,5 m.s<sup>-1</sup>. A área com Sample Entropy moderado que abrange os estados do PI e CE, apresenta média da velocidade do vento diferente entre os extremos, onde fazem fronteira com o oceano Atlântico, e no centro. Porém, mesmo com as diferenças nas médias velocidade do vento a previsibilidade nestes locais são similares com entropia moderada.

Camelo et al. (2016) visando a predição da velocidade do vento no Nordeste brasileiro através dos modelos de regressão linear simples e não-linear para fins de geração de energia eólica identificam que os modelos mostram uma tendência de que o melhor ajuste aos dados estão nos municípios de Fortaleza (CE), Parnaíba (PI) e São Luís (MA), dentre os municípios estudados.

A Figura 5 representa a média (Figura 5 (a)) e a Sample Entropy (Figura 5 (b)) da velocidade do vento às 18h.

**Figura 4.** Média (a) e Sample Entropy (b) para série da velocidade do vento às 18h da ERA-40 sobre o NE brasileiro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

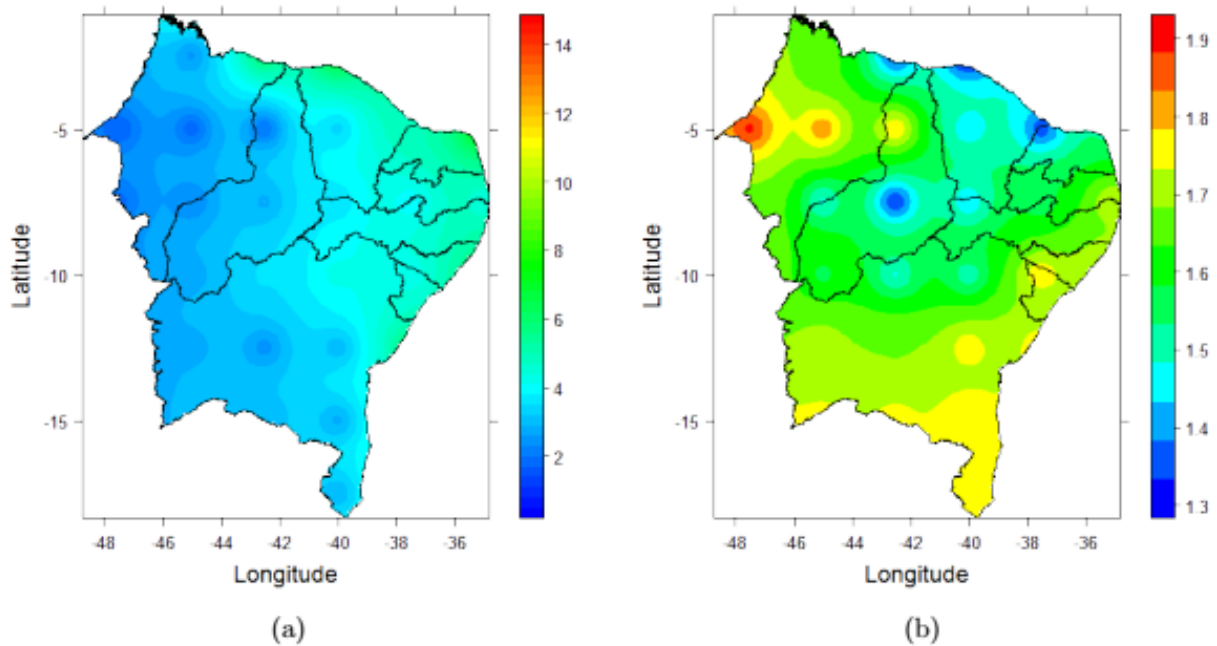
Percebe-se que o desempenho da média da velocidade do vento é maior principalmente na faixa litorânea entre os estados do CE e SE (Figura 5 (a)). Porém, a Sample Entropy (Figura 5 (b)) apresenta valor alto por todo o NE, sendo que a velocidade do vento é pouco previsível nestas áreas durante às 18h. No Norte a Sample Entropy é moderada, portanto, a velocidade do vento com registros entre  $5 \text{ m.s}^{-1}$  tem comportamento regular e são mais previsíveis nestas áreas.

Vale et al. (2020) verifica no zoneamento para exploração da energia eólica com uso de sistemas de informação geográfica (SIG) e análise multicritério que no Ceará, estado com condições excepcionais para geração de energia eólica e o segundo no Brasil com maior fator de capacidade instalada, existem outras áreas com características de ventos favoráveis para exploração de energia eólica além das que já são exploradas como a região costeira.

De acordo com Silva et al. (2019), em estudo sobre a complexidade da velocidade do vento e do potencial eólico em Petrolina (PE), a dinâmica da velocidade do vento pode ser menos regular em alguns períodos interferindo na eficiência da captação de energia eólica e produção de eletricidade.

Na Figura 6 são observadas a média (a) e a Sample Entropy (b) diária da velocidade do vento da velocidade do vento sobre o NE brasileiro.

**Figura 5.** Média (a) e Sample Entropy (b) para série Diária da velocidade do vento da ERA-40 sobre o NE brasileiro.

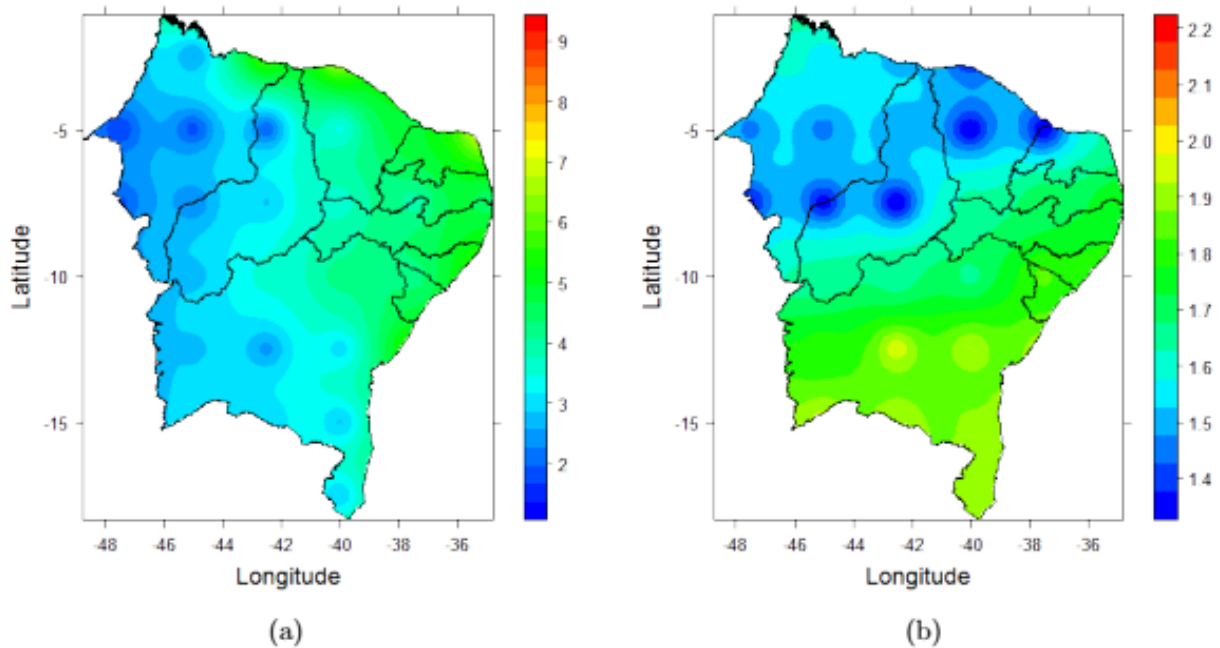


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A média diária (Figura 6 (a)) sobre o NE brasileiro encontra-se entre (2 e 6  $\text{m.s}^{-1}$ ), sendo o Norte a área de maior intensidade. Esta região também apresenta menor valor de Sample Entropy, com performances que são pertinentes a previsão da velocidade do vento. No Centro do MA concentram-se os maiores valores de Sample entropy, mas a velocidade do vento nesta região é menor. Comportamento semelhante é observado no Sul da BA. No Centro do PI e no CE nota-se a Sample entropy moderada, indicando regularidade similar para essas regiões que apresentam diferentes valores para média da velocidade do vento.

A Figura 7 representa a média (a) e a Sample Entropy (b) mensal da velocidade do vento sobre o NE brasileiro.

**Figura 6.** Média (a) e Sample Entropy (b) para série Mensal da velocidade do vento da ERA-40 sobre o NE brasileiro.

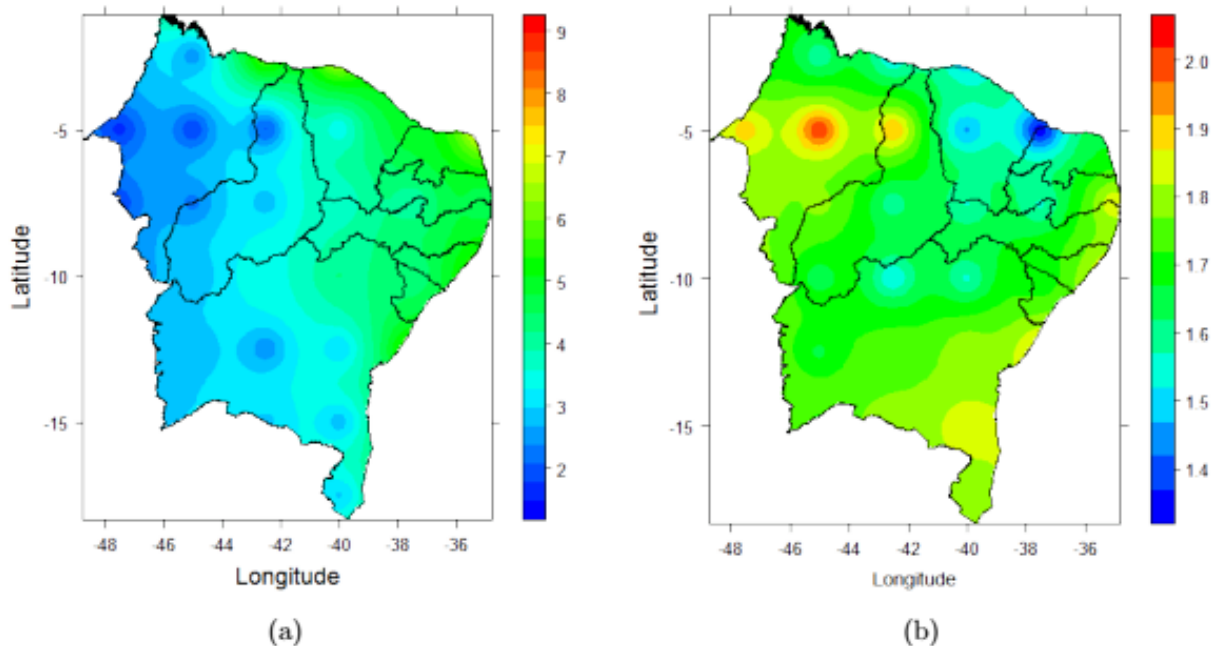


Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A avaliação mensal da média (Figura 7 (a)) da velocidade do vento demonstra o domínio de velocidade entre 2 e 4  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , como brisas leves e suaves de acordo com a escala de Beaufort. Sendo o Norte o local de maior velocidade do vento (6  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), atingindo número 4 na escala de Beaufort (brisas fracas) (CPTEC, 2017). A Figura 7 (b), permite a constatação do com desempenho moderado da Sample Entropy nos estados do MA, PI, CE e RN, tornando a velocidade do vento mais previsível nestes locais. Além de indicar que diferentes regiões com média de velocidade do vento diferente têm regularidade semelhante.

Na Figura 8 são observadas a média (a) e a Sample Entropy (b) sazonal da velocidade do vento sobre o NE brasileiro.

**Figura 7.** Média (a) e Sample Entropy (b) para série Sazonal da velocidade do vento da ERA-40 sobre o NE brasileiro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O comportamento da média sazonal da velocidade do vento (Figura 8 (a)) é maior sobre o Norte e Leste, com as demais áreas apresentando baixa velocidade do vento. Porém, a Sample Entropy (Figura 8 (b)) tem menor valor na divisa do CE e RN com desempenho moderado, esta região também apresenta o melhor índice de velocidade do vento, portanto, essas características são ideais para implantação de turbinas eólicas, uma vez que a previsibilidade da velocidade do vento é maior em locais onde as médias são maiores. Enquanto, no centro do MA a média da velocidade do vento é menor e a Sample Entropy é maior, apresentando maior irregularidade para séries da velocidade do vento.

De acordo com Santana et al. (2015) a distribuição Weibull de dois parâmetros tem melhor ajuste no NE brasileiro, com os parâmetros de forma e escala apresentando maior constância e estimativas, respectivamente, da velocidade do vento no Norte e Leste do NE, região que apresenta maior previsibilidade da velocidade do vento para as escalas (horária, diária, mensal, sazonal) abordadas.

#### 4. Considerações Finais

A região NE tem sua localização geográfica favorecida pela ação de sistemas e fenômenos que influenciam na velocidade do vento. Por meio da análise da Sample Entropy

foi possível identificar que as áreas de maior média de velocidade do vento apresentam maior previsibilidade. Ressalta-se, que locais com mesmo padrão na média da velocidade do vento apresentam regularidades/previsibilidades distintas e essas características são condições importantes em estudos que visam a implantação de torres eólicas, uma vez que a regularidade da velocidade vento pode interferir no desempenho das turbinas.

## Referências

ABEEólica. (2020). Associação Brasileira de Energia Eólica. Acesso em 15 maio 2020, em: [http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Infovento-15\\_PT.pdf](http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Infovento-15_PT.pdf)

ANEEL. (2005). Agência Nacional de Energia Eólica. Atlas de energia elétrica do Brasil.

Amarante, O. A., Brower, M., Zack, J., & Sá, A. L. (2001). Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília, DF. CD-ROM.

Camelo, H. do N., Lucio, P. S., Gomes, O. M., & Leal Junior, J. B. V. (2016). Predição de velocidade do vento em municípios do Nordeste brasileiro através de regressão linear e não linear para fins de geração eólica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(03), 927-939.

Carneiro, T. C., & de Carvalho, P. C. M. (2015). Caracterização de potencial eólico: estudo de caso para Maracanaú (CE), Petrolina (PE) e Parnaíba (PI). *Revista Brasileira de Energia Solar*, 6(1). Acesso em 29 abril 2020. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/122/122>.

CPTEC. (2017). Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climático. Acesso em 15 maio 2020, em: <http://www.cptec.inpe.br/noticias/imprimir/22551>.

Ferreira, A. G., & da Silva Mello, N. G. (2005). 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*, 1(1). doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>

GWEC, G. W. P. C. (2019). Global Wind Energy Outlook. Brussels.



Harper, B. R., Katz, R. W., & Harriss, R. C. (2007). Statistical methods for quantifying the effect of the El Niño southern oscillation on wind power in the Northern great plains of the United States. *Wind Engineering*, SAGE Publications Sage UK: London, England, 31(3), 123–137. doi: <https://doi.org/10.1260/030952407781998792>.

Herrera, B., & Watts, D. (2012). The Capacity Value of Wind: Foundations, Review and Applications in Chile. *IEEE Latin America Transactions*, 10(2), 1574-1580. doi: 10.1109/TLA.2012.6187601.

Lima, C. N. N., Fernandes, C. A. C., França, G. B., & de Matos, G. G. (2014). Estimação do Impacto do El Niño/La Niña na Intensidade dos Ventos do Nordeste Brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(2), 232-240. doi: [http://dx.doi.org/10.11137/2014\\_2\\_232\\_240](http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_232_240).

Lira, M. A. T., Neto, J. M. M., Loiola, J. V. L. d., Silva, E. M. d., & Alves, J. M. B. (2017). Caracterização do regime de ventos no Piauí para o aproveitamento de energia eólica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(1), 77–88. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120150712>.

Oliveira, J. L., & Costa, A. A. (2011). 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*, 26(1), 53-66. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000100006>.

Pincus, S. M. (1991). Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(6), 2297–2301. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.88.6.2297>.

Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2039–H2049. doi: <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039>



Santana, L. V. R., & da Silva, A. S. A. (2019). Análise de agrupamento da velocidade do vento no Nordeste do Brasil. *Sigmae*, 8(2), 481-489. Acesso em 25 maio 2020. Disponível em: [http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v33/v33\\_n3/A10\\_Leda\\_et\\_al.pdf](http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v33/v33_n3/A10_Leda_et_al.pdf).

Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: ACM. *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*. 517–524. doi: <https://doi.org/10.1145/800186.810616>.

Silva, G. F. da, Silva, A. S. A. da, & Stosic, T. (2019). Using Sample Entropy to assess complexity of wind speed dynamics. *Acta Scientiarum. Technology*, 41, e38954-e38954. doi: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v41i1.38954>.

Team, R. C. (2000). A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

Vale, D., Silva, R., Rocha, E., & Alexandria, A. (2020). Zoneamento para exploração da energia eólica no Ceará com uso de sistemas de informação geográfica (SIG) e análise multicritério. *Research, Society and Development*, 9(7), e455973809. doi:<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3809>

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Lêda Valéria Ramos Santana – 25%

Tatijana Stosic – 25%

Tiago Alessandro Espínola Ferreira – 25%

Antonio Samuel Alves da Silva – 25%