



## ANÁLISE SAZONAL DO POTENCIAL EÓLICO NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL-PR

Ricardo Guicho<sup>1</sup>, Samuel Nelson Melegari de Souza<sup>2</sup>, Jair Antonio Cruz Siqueira<sup>3</sup>, Araceli Ciotti Marins<sup>4</sup>

**RESUMO:** Considerando que a produção elétrica brasileira é alicerçada na geração hidráulica, associado à crise hídrica, o crescimento da demanda e a preocupação ambiental, fomentaram-se os estudos para encontrar mecanismos que minimizem os problemas que cercam a geração elétrica. Entre as formas de geração, está a proveniente de movimento de massas de ar, denominada eólica. Com o intuito de conhecer o potencial eólico sazonal do município de Cascavel, realizou-se um comparativo dos dados de velocidade do vento para descobrir qual estação pode render melhor aproveitamento de acordo com a velocidade média do vento local. Para tal análise, as velocidades médias do município de Cascavel foram obtidas através do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Os dados foram apresentados em planilha eletrônica e analisados no programa *BioEstat* 5.0, onde realizaram-se testes estatísticos como o de *Shapiro-Wilk* e Análise de Variância *ANOVA*: um critério. Os testes foram aplicados objetivando a comparação das velocidades médias entre todas as estações em uma série histórica de 06 anos (2011-2016). Com as análises realizadas, pôde-se comprovar que na série histórica analisada, o inverno possui significante diferença de velocidade média sazonal, e portanto, pode proporcionar melhores condições de geração elétrica.

**PALAVRAS CHAVE:** Energia eólica, Estações, BioEstat, Sazonalidade.

### SEASONAL ANALYSIS OF THE WIND POWER IN CASCAVEL-PR

**ABSTRACT:** Brazilian electrical generation relies on the hydraulic production that associated to the hydric crisis, growth demand and environmental concern; studies aim to find new mechanisms to minimize the problems surround the electrical production. Denominated wind power or eolic energy the air mass movement, is among the ways of energy generation. This paper demonstrates the Seasonal Eolic Potential of Cascavel city, in Paraná, Brazil, comparing wind speed data to find which season is better to produce eolic energy according to the local wind speed average. In this analysis, Cascavel-PR air speed averages were obtained through the Paraná Meteorological System (SIMEPAR). The data was analyzed by *BioEstat* 5.0 software, which performed Shapiro-Wilk and Variance Analysis (ANOVA) criteria statistic tests. The tests compared the speed average between all seasons in a historic period of 6 years (2011-2016). In the analyzed historic period, winter has a significant difference statistical in wind seasonal speed average, and therefore has better conditions to generate eolic energy.

**KEYWORDS:** Wind power, seasons, BioEstat, seasonality.

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é baseada principalmente na geração hidráulica e, de acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN de 2017 foi responsável por 68,1% de toda geração em 2016 (BRASIL: BEN, 2017).

Porém, Almeida e Benassi (2015) alertam que a escassez hídrica que regularmente atinge a região Nordeste do Brasil, passou a afetar também a região Sudeste nos últimos anos (2014-2015), pois desde 2013 esta região tem os níveis dos seus reservatórios reduzidos.

Em 2017, segundo o relatório do Balanço Energético Nacional (BRASIL: BEN) a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo com 42,9% onde a média Mundial é de 13,7%. Já na participação de renováveis especificamente na Matriz Elétrica Brasileira, houve uma pequena queda da porcentagem com relação a 2016, devido às condições hidrológicas desfavoráveis e o crescimento das gerações térmicas, porém o crescimento da geração eólica foi a responsável por minimizar esta queda, visto que houve um aumento de 26,5% representando 42.373 GWh (BRASIL: BEN, 2018), com 557 empreendimentos em operação e sendo responsável por 8,53% de toda a fonte geradora de energia da matriz

<sup>1</sup> Mestrando de Engenharia de Energia na Agricultura, UNIOESTE, Cascavel, PR, Brasil, [ricardoguicho@alunos.utfpr.edu.br](mailto:ricardoguicho@alunos.utfpr.edu.br)

<sup>2</sup> Prof.º Dr.º do Mestrado de Engenharia de Energia na Agricultura/UNIOESTE, Cascavel, PR, Brasil, [samuel.souza@unioeste.br](mailto:samuel.souza@unioeste.br)

<sup>3</sup> Prof.º Dr.º do Mestrado de Engenharia de Energia na Agricultura/UNIOESTE, Cascavel, PR, Brasil, [jair.siqueira@unioeste.br](mailto:jair.siqueira@unioeste.br)

<sup>4</sup> Prof.a Dr.a do Mestrado de Engenharia de Energia na Agricultura/UNIOESTE, Cascavel, PR, Brasil, [aracelimarins@yahoo.com.br](mailto:aracelimarins@yahoo.com.br)

elétrica brasileira segundo o Banco de Informações de Geração (BRASIL: BIG, 2018).

Nestas condições, Cruz (2015) expõe que a micro e a minigeração representa uma possível solução para complementar o fornecimento de energia elétrica, gerando a energia próxima ao local de consumo através de fontes renováveis, entre elas a utilização da força dos ventos.

De acordo com Simas e Pacca (2013) o primeiro aerogerador foi instalado no Brasil em 1992 trazendo políticas de incentivo à amplificação dessa tecnologia, já que a energia eólica é considerada limpa e competitiva. Atualmente os equipamentos se tornaram de baixo custo devido ao excesso de oferta, e a variação cambial possibilitou a importação de forma barata, com isso, o mercado tornou-se diversificado.

O rotor, contido dentro de um aerogerador, é o responsável pela transformação da energia cinética dos ventos em energia elétrica. O sistema de um aerogerador é feito automaticamente por meio de softwares e microprocessadores (AMARANTE, 2001).

O uso de energia eólica no Brasil está em constante crescimento visto a dimensão territorial do país, favorecendo a exploração da energia eólica. Já que o Brasil possui uma ampla área costeira e que tem uma forte interferência do vento assim como locais com maiores altitudes de forma ativa para a implementação de turbinas em muitas regiões. Importante ressaltar que a falta de eletricidade nas áreas rurais pode ser parcialmente resolvida pela instalação de pequenas turbinas eólicas (GABRIEL FILHO, 2013).

A região sul do Brasil apresenta velocidade anual dos ventos em lugares de topo entre 5,5 a 6m/s, onde a rugosidade é baixa, a velocidade anual é de 7 a 8m/s, e na costa possui velocidades superiores a 7m/s devido a

influência do relevo e das brisas marinhas (AMARANTE, 2001).

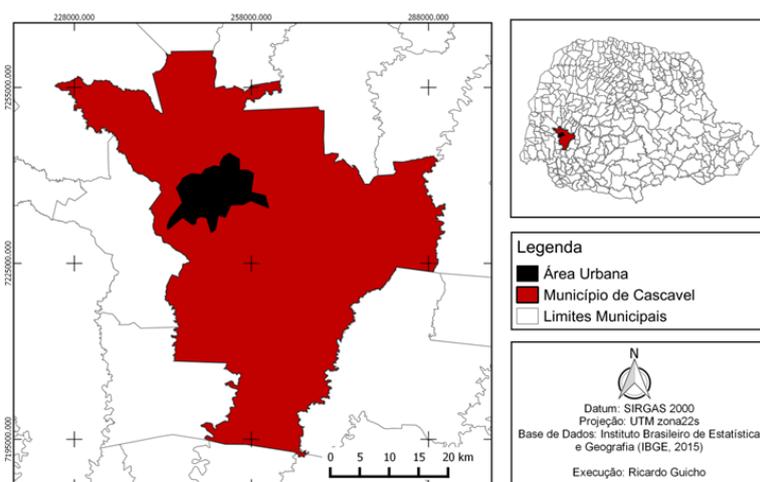
Segundo a Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 2007) a região entre as cidades de Cascavel (PR) e Maringá (PR), consistem em campos de relevo suave. Os ventos médios a 75m de altura variam entre 6,5 e 7,0m/s, e quando iguais ou superiores a 7,0m/s geram em torno de 1360MW, sendo assim, o potencial de geração eólica do Paraná é bastante promissor. Seu potencial pode ser aproveitado gradativamente, nos limites de inserção do sistema elétrico regional, porém apenas 0,01 % (2,5 MW) da energia fornecida pelo estado provém de usinas eólicas.

Para Tercio (2002) o benefício primordial da energia eólica é a não-emissão de dióxido de carbono, principal responsável pelo efeito estufa. Além dos aerogeradores ocuparem pouco espaço e permitirem outras atividades como a agricultura e pecuária, ainda possibilitam a redução da utilização de combustíveis fósseis. Portanto, este trabalho objetiva avaliar o aproveitamento eólico sazonal no município de Cascavel.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado com dados do município de Cascavel (Figura 1). Segundo Aves et al. (2013) o município apresenta classificação climática Cfa, ou seja, clima mesotérmico subtropical caracterizado por verões quentes, com concentração de chuvas no período de verão e seca no período de inverno e pouca frequência de geadas. De acordo com Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2017) encontra-se entre as coordenadas 24° 57' 21" de Latitude Sul e 53° 27' 19" de Longitude Oeste, a uma altitude média de 781 metros sobre o nível do mar.



**Figura 1** – Mapa de Localização do município de Cascavel-PR

Fonte: Autoria própria

## 2.2 Métodos de pesquisa

As velocidades do vento da cidade de Cascavel, no estado do Paraná, foram obtidas através do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Portanto as análises foram realizadas a partir dos dados disponibilizados, ou seja, do ano de 2011 a 2016, perfazendo uma série histórica de 6 anos. Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e efetuado o cálculo de velocidade dos ventos ocorrida em cada mês do período analisado de 2011 a 2016 e logo após agrupadas nas suas respectivas sazonalidades.

Utilizou-se o software BioEstat 5.0 para a realização dos cálculos estatísticos de normalidade, onde empregou-se o teste de Shapiro-Wilk visto que são 4 amostras (4 estações do ano), cada uma contendo valores  $2 < n < 51$ . Definiu-se, portanto, duas hipóteses sendo a  $H_0$  que é a normalidade dos dados e a  $H_1$ : não apresenta normalidade entre os valores de cada amostra. Como houve a presença de normalidade aceita-se então  $H_0$ . A partir disso utilizou-se do teste ANOVA de um critério para a comparação entre as estações, que é um teste paramétrico, já que houve normalidade, destinado a comparar mais de duas amostras (4 estações) cujos dados devem ser mensurados em escala intervalar ou de razões. A designação de “um critério” é pelo fato de se comparar somente as variações entre os tratamentos, complementando-se com o exame das diferenças entre as médias amostrais.

Considerou-se a seguinte separação mensal para as estações: Verão: Janeiro, Fevereiro e Março; Outono: Abril, Maio e Junho; Inverno: Julho, Agosto e Setembro; Primavera: Outubro, Novembro e Dezembro.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que se obtenham os resultados das estatísticas, é necessária, primeiramente a organização dos dados das médias sazonais.

Os resultados da estatística descritiva obtidos pelo Excel estão dispostos na tabela 1.

### 3.1 Análise sazonal

**Tabela1** - Estatística descritiva da velocidade do vento sazonal.

Ano	Estação	Velocidade Média Sazonal	Desvio Padrão Sazonal
2011	Verão	3.56	0.57311
	Outono	3.96	0.41535
	Inverno	4.78	0.32768
	Primavera	4.16	0.48195
2012	Verão	3.63	0.21673
	Outono	3.85	0.3034
	Inverno	4.79	0.47968
	Primavera	4.23	0.42965
2013	Verão	4.02	0.02568
	Outono	3.97	0.12021
	Inverno	4.49	0.29043
	Primavera	4.52	0.51459
2014	Verão	3.93	0.15577
	Outono	4.26	0.24631
	Inverno	4.96	0.34358
	Primavera	4.29	0.29496
2015	Verão	3.56	0.23077
	Outono	4.04	0.45617
	Inverno	4.62	0.31577
	Primavera	3.95	0.38166
2016	Verão	3.26	0.07832
	Outono	3.60	0.31401
	Inverno	4.29	0.21611
	Primavera	4.23	0.32405

**Fonte:** Resultados da pesquisa.

Os dados são fundamentais para a compreensão do afunilamento das informações anuais e semestrais, visto que a utilização das médias é interessante para o agrupamento de informações, por este motivo serão utilizados os dados de médias sazonais, ano a ano, para as análises estatísticas.

Após a organização dos dados de velocidade média dos ventos por estações do ano no software BioEstat 5.0, realizou-se o teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade (Tabela 2).

**Tabela 2 - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk**

Resultados	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Tamanho da amostra	6	6	6	6
Média =	3.66	3.95	4.65	4.23
Desvio padrão =	0.2775	0.2152	0.2366	0.1840
W =	0.9348	0.9682	0.9719	0.9515
p =	0.5665	0.8507	0.8825	0.7081

Fonte: Resultados da pesquisa.

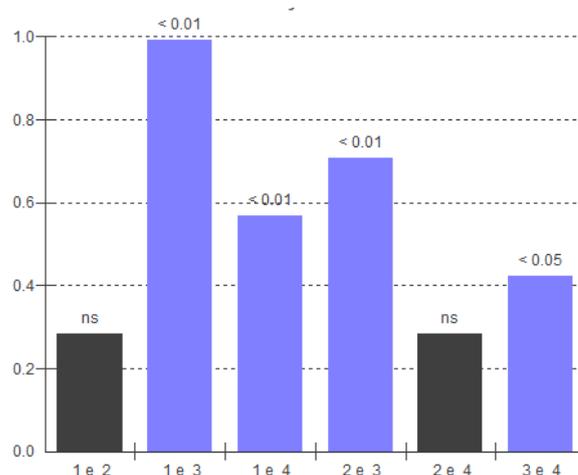
As quatro sazonalidades mostraram valores de p acima de 0.05, ou seja, demonstram que os dados referentes à velocidade média sazonal do período analisado estão dentro da normalidade de cada estação. Por este motivo fez-se necessário a utilização de um teste paramétrico, que neste caso o emprego adequado é para o teste ANOVA de um critério (Tabela 3), que é destinado a comparação de mais de duas amostras.

**Tabela 3 - Análise de Variância do teste ANOVA: um critério.**

Tukey:	Diferença	Q	(p)
Médias ( 1 a 2)	0.2843	3.0171	ns
Médias ( 1 a 3)	0.9925	10.5313	< 0.01
Médias ( 1 a 4)	0.5696	6.0442	< 0.01
Médias ( 2 a 3)	0.7082	7.5142	< 0.01
Médias ( 2 a 4)	0.2853	3.0271	ns
Médias ( 3 a 4)	0.4229	4.4871	< 0.05

Fonte: Resultados da pesquisa.

Pode-se observar que das comparações entre as amostras, apenas em duas delas não houve diferença significativa representado pelo valor de p como “ns”, ou seja, os valores são considerados próximos e, portanto, pertencem ao mesmo grupo. Quando há uma diferença significativa entre as amostras é apresentado, portanto, a porcentagem de não normalidade referente às comparações, neste caso são demonstrados pelas comparações das amostras 1-3, 1-4, 2-3 e por fim da 3-4, onde os números são representantes das estações sendo 1-verão, 2-outono, 3-inverno e 4-primavera, sua representação gráfica proporciona um entendimento dos resultados quantitativos do quadro exposto que pode ser observado conforme a Figura 2.



**Figura 2 - Gráfico da análise paramétrica ANOVA: um critério.**

Fonte: Resultados da pesquisa.

Com o gráfico apresentado, podem-se observar seis comparações e duas características diferentes separadas pelas cores, onde a cor preta, definidas entre as comparações das amostras de 1-2 e 2-4 tiveram a classificação de “ns”, ou seja, não significativa. Isso significa que quanto menor a diferença entre os pontos médios, menor a sua variância e, portanto, mantém-se dentro da normalidade.

No segundo grupo das características encontram-se as barras em azul, definidas entre as comparações das amostras de 1-3, 1-4, 2-3 e 3-4, que obtiveram valores, de diferenças médias, considerados como significativos para esta análise. Este índice resultou num valor de p abaixo de 0.05, com diferenças significativas.

Para a identificação dos grupos foram apresentados na tabela 4 os resultados encontrados com a comparação das médias de cada estação.

**Tabela 4 - Velocidade média do vento por estações.**

Representação numérica das estações	Estação	Média	Resultado
3	Inverno	4.65	a
4	Primaver	4.23	b
	a		
2	Outono	3.95	bc
1	Verão	3.66	c

Fonte: Resultados da pesquisa.

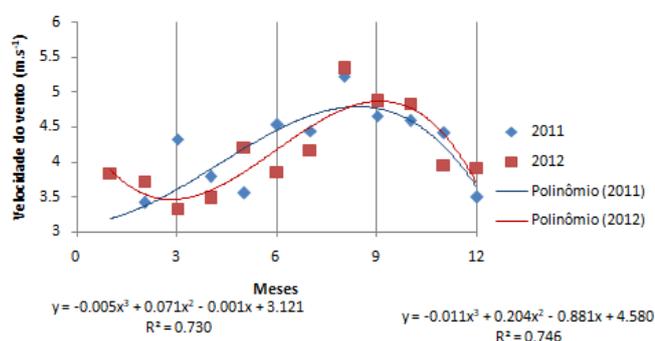
Considerando-se que as estações que possuem letras iguais indicam semelhanças estatísticas no nível de 0,05, pode-se entender que a estação da Primavera representada pelo número 4 é semelhante, estatisticamente, com o Outono (2), que por sua vez não possui diferença significativa com o Verão (1).

É possível identificar que a estação do Inverno, representado pelo número 3, possui a maior velocidade média de ventos, representada pelo valor de 4.6546 m.s<sup>-1</sup>, considerado significativamente diferente das demais estações, já que a letra “a” não se repete nas outras estações.

Silva e Vieira (2016) ressaltam que a disponibilidade de energia eólica é tipicamente mais intensa nas estações da primavera e inverno, assim como resultado encontrado neste estudo. Justificando que nestas estações, são quando o regime de ventos se mantém mais intensos e constantes.

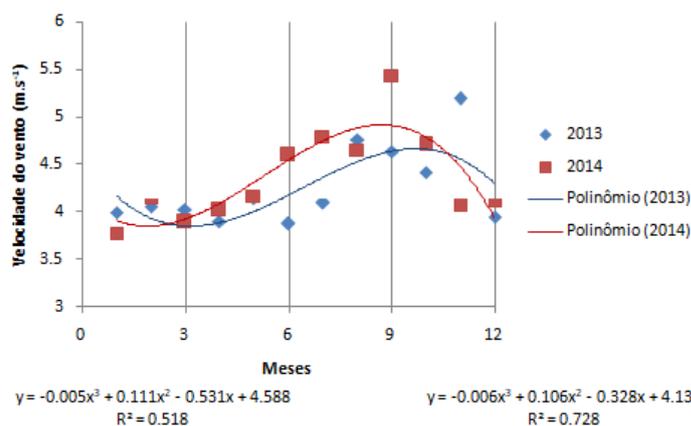
Apesar de serem desejáveis velocidades superiores a 7,0 m.s<sup>-1</sup>, para exploração comercial, os ventos com velocidades inferiores, como os apresentados neste trabalho, podem ser aproveitadas para aplicações práticas que demandam baixos potenciais na agricultura familiar, como o bombeamento de água (SILVA, LOPES E CARVALHO, 2013).

Para ilustrar as análises estatísticas realizaram-se gráficos de regressão linear agrupados em pares de comparações dos anos analisados (figuras 3, 4 e 5).



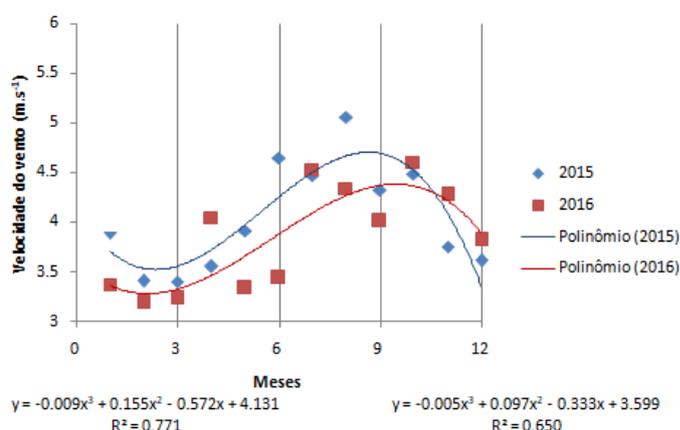
**Figura 3** -Velocidade do vento dos anos de 2011 e 2012.

**Fonte:** Resultados da pesquisa



**Figura 4** -Velocidade do vento dos anos de 2013 e 2014.

**Fonte:** Resultados da pesquisa



**Figura 5** -Velocidade do vento dos anos de 2015 e 2016.

**Fonte:** Resultados da pesquisa

Com a exposição dos gráficos pode-se verificar que os maiores valores estão contidos nos meses entre 6 e 12, representados pelas estações Inverno e Primavera respectivamente. Nos meses de 6 a 9 sempre há um aumento na velocidade do vento, sendo o mês 9, na maioria das vezes, o responsável por conter o maior valor de velocidade registrado e a partir deste, o decréscimo das velocidades.

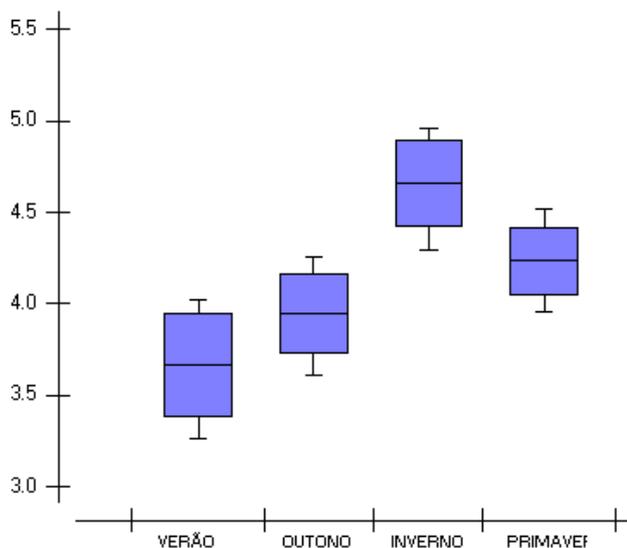
Na tabela 5 é possível identificar a análise descritiva realizada para a compreensão dos resultados obtidos.

**Tabela 5 - Estatística descritiva das amostras.**

	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Tamanho da amostra =	6	6	6	6
Mínimo	3.261	3.605	4.295	3.9486
Máximo	4.0225	4.2559	4.957	4.5157
Amplitude Total	0.7615	0.6509	0.662	0.5671
Mediana	3.5975	3.9648	4.6967	4.2329
Primeiro Quartil (25%)	3.5616	3.8759	4.5254	4.1819
Terceiro Quartil (75%)	3.8575	4.0225	4.7845	4.2796
Média Aritmética	3.6621	3.9464	4.6546	4.2317
Variância	0.077	0.0463	0.056	0.0338
Desvio Padrão	0.2775	0.2152	0.2366	0.184
Erro Padrão	0.1133	0.0878	0.0966	0.0751
Coefficiente de Variação	7.58%	5.45%	5.08%	4.35%
Assimetria (g1)	0.0044	-0.3089	-0.4269	0.0089
N (média harmônica) =	6	6	6	6
Média Geométrica =	3.6533	3.9415	4.6495	4.2284
N (média geométrica) =	6	6	6	6
Variância (geom.) =	1.0025	1.0013	1.0011	1.0008
Desvio Padrão (geom.) =	1.079	1.0565	1.0526	1.0445

**Fonte:** Resultados da pesquisa

Estes valores encontrados nas estatísticas descritivas podem ser visualizados no gráfico box-plot (Figura 6) apresentando os dados de forma a compreensão visual.

**Figura 6 - Gráfico Blox-Plot da estatística descritiva.**

**Fonte:** Resultados da pesquisa

Como pôde-se observar a estação do Inverno possui os maiores valores de velocidade média, quando comparado às demais estações. De acordo com a tabela 4, pode-se verificar também, que além de possuir as maiores velocidades, o Inverno foi a única estação que, estatisticamente, se diferenciou de forma significativa das outras estações, ou seja, sua velocidade média possui valores que proporcionaria maior potencial eólico entre as sazonalidades analisadas entre os anos de 2011 a 2016.

## 4 CONCLUSÃO

Destacam-se as seguintes conclusões:

a) Os dados de velocidade de vento de cada estação possuem um padrão de normalidade. Quando realizada a comparação entre as estações, o Inverno se destaca, visto que é diferente estatisticamente das demais.

b) A maior velocidade média foi identificada no Inverno, com 4,65 m.s<sup>-1</sup>.

c) É possível então concluir que um aerogerador instalado neste município, de acordo com a série histórica estudada, terá um potencial de geração elétrica maior no trimestre que contém Julho, Agosto e Setembro.

d) É importante ressaltar que existem aerogeradores que tem seu início de geração, a partir de 3m.s, tornando então viável a aplicação de aerogeradores em Cascavel-PR, dependendo de sua aplicação, como o bombeamento de água em propriedades rurais.

## 5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. L.; BENASSI, R. F. Crise hídrica e de energia elétrica entre 2014-2015 na região Sudeste. Revista Hipótese, Itapetininga, v.1, n.2, p.65-76, 2015.

ALVARES, C.A.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Piracicaba, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARANTE, O. A. C; ZACK, M. B.; J.; SÁ, A. L. Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília, DF: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESEB), 2001. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração. Brasília: ANEEL, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 13 jul. 2018.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2017**: ano base 2016. Rio de Janeiro, 2015, 296 p.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2018**: ano base 2017. Rio de Janeiro, 2018, 294 p.

Companhia Paranaense de Energia (COPEL). **Atlas do potencial eólico do estado do Paraná**. Curitiba, 2007. 53 p.. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fb2417eac55918e7403257625005b7446>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

CRUZ, Daniel Tavares. **Micro e minigeração eólica e solar no Brasil: propostas para desenvolvimento do setor**. 2015. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; SATO, K. Y; Putti, F. F.; SERAPHIM, O. J.; GABRIEL, C. P. C. The feasibility of using wind energy for rural populations lacking electric power in Brazil. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 3, p. 150-154, jul./set. 2013.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno Estatístico de Cascavel**. Curitiba: IPARDES. Agosto, 2017. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85800>. Acesso em: 22 ago. 2017.

SILVA, D. G. da; LOPES, R. P; CARVALHO, D. F. Caracterização do potencial eólico em Seropédica (RJ). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n.3, p.185-192, jul./set., 2013.

SILVA, Robson L.; VIEIRA, Marcelo M. Direção predominante, velocidade do vento e suas frequências de ocorrência em Dourados-MS. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.31, n.4, p. 348-355, out-nov, 2016.

SIMAS, M.; PACCA, S. **Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável**. Estudos Avançados, v. 27, n. 77, p. 99 - 115, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v27n77/v27n77a08.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

TERCIOTE, R. A energia eólica e o meio ambiente. In: **Energia no Meio Rural**, 4, 2002, Campinas. **A energia eólica e o meio ambiente**. Campinas, 2002.