



Tendências de alteração da velocidade do vento no estado do Paraná

Dalziza de Oliveira^{1(*)} e Edmirson Borrozzino¹

¹Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR, Rodovia Celso Garcia Cid, km 375, CEP 86057-970 Londrina, PR. E-mails: dalzizadeoliveira@gmail.com e sam@iapar.br

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 5 de abril de 2018

Aceito em 20 de dezembro de 2018

Termos para indexação:

climatologia
mudanças climáticas
velocidade do vento
pico máximo de vento
Mann-Kendall
Pettitt

RESUMO

O objetivo deste estudo foi investigar a ocorrência de tendências de alteração na velocidade do vento e se elas predominam em algum período do ano, para seis localidades do estado do Paraná. Para isso, foi utilizado o método de Mann-Kendall ao nível de significância de 5%. As tendências foram consideradas positivas quando houve aumento da variável ao longo do tempo e negativas quando houve decréscimo. Também foram realizados testes de homogeneidade de Pettitt. Para a velocidade média do vento, todas as localidades estudadas apresentaram tendência negativa, sem um período de concentração definido. Para o pico máximo de vento as tendências também foram sempre negativas e observadas no período de janeiro a julho. A redução da velocidade média do vento foi, em média, de 12% em Londrina, 21% em Paranavaí, 18% em Morretes e 9% em Telêmaco Borba. A data de ruptura dessas séries foi diferente para cada mês, sendo que a maioria delas ocorreu na década de 1990.

© 2018 SBAgrometeorologia. Todos os direitos reservados.

Introdução

Informação sobre a velocidade do vento próximo à superfície é usada para assistir projetos em várias áreas de atuação, tais como em estimativas de consumo hídrico pelas culturas agrícolas, erosão de encostas, dispersão de poluentes, transmissão de energia elétrica, engenharia civil e na construção de fazendas de geração de energia eólica. O crescimento da economia mundial aumenta a demanda por energia e as fontes de energia renováveis, tais como energia eólica, têm provado ser alternativas viáveis que podem ser amplamente empregadas (Santos e Silva, 2013).

Na agricultura, o vento afeta o crescimento das plantas porque influencia as trocas físicas de calor, gás carbônico

e vapor d'água que ocorrem entre a atmosfera e a vegetação. Os ventos fortes provocam danos mecânicos às plantas, como quebras e acamamento, com grandes prejuízos. O vento também é responsável pela disseminação de pólen, doenças, pragas, sementes e poluentes (Wagner et al., 1989).

Os ventos no estado do Paraná são resultado, principalmente, da dinâmica entre o anticiclone subtropical do Atlântico, os intermitentes deslocamentos de massas polares e a depressão barométrica do nordeste da Argentina. A circulação atmosférica resultante, no sentido anti-horário, se caracteriza pelo predomínio de ventos de leste-nordeste sobre toda a área do Brasil situada ao Sul da latitude de 10°S e sobre o Paraná, onde é acentuada

também a ocorrência de ventos de leste-sudeste (Copel et al., 2007). Wagner et al. (1989) concordam que a direção predominante dos ventos no estado se concentra nas direções NE-E-SE, contudo os ventos que acompanham as entradas de massas de ar frio se concentram nas direções S-SW-W-NW.

Os municípios paranaenses que apresentam as maiores velocidades médias diárias ($>3 \text{ m.s}^{-1}$) são Clevelândia, Ponta Grossa, Cascavel e Guarapuava. Em Telêmaco Borba e Morretes são observadas as menores médias anuais ($1,7$ e $1,4 \text{ m.s}^{-1}$, respectivamente). Nos demais locais as médias oscilam entre 2 e 3 m.s^{-1} (Wagner et al., 1989).

É importante lembrar que além das causas naturais da variação do clima, o advento antropogênico das mudanças climáticas e aquecimento global também podem estar provocando a intensificação de alguns fenômenos meteorológicos adversos (IPCC, 2007). Silva & Guetter (2003) apontam que prever as mudanças climáticas com detalhe e antecedência adequados e suficientes é um grande desafio que se coloca para os climatologistas. Outro ponto importante é que a nível regional essas mudanças podem ocorrer de forma distinta, com variações no volume e distribuição espacial da precipitação, da temperatura, da elevação do nível do mar, entre outros.

Entretanto, são poucos os estudos que examinam alterações na velocidade do vento. McCabe et al. (2001) encontraram um decréscimo estatisticamente significativo na frequência de ciclones em latitudes médias do hemisfério Norte e um aumento nas altas latitudes. Variações na frequência e intensidade dos ciclones extratropicais influenciam diretamente o clima superficial, com efeitos na cobertura de nuvens, ventos e precipitação (Watson et al., 1998). Contudo, há pouca pesquisa direcionada ao hemisfério sul.

Um dos poucos estudos de tendências no vento no hemisfério sul foi realizado por Cardoso et al. (2016) que observaram um decréscimo na velocidade média do vento sobre o Oceano Atlântico na região adjacente à Argentina, bem como sobre alguns setores do norte daquele país, no Paraguai e também no oeste dos estados da região sul do Brasil (incluindo o Paraná) e no sudoeste do Mato Grosso do Sul. Estudando o nordeste do Brasil, Santos e Silva (2013) também encontraram tendência de redução na velocidade do vento ao longo de todo o ano para três de cinco grupos de estações meteorológicas.

Yevjevich (1972) citado por Back (2001) define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas.

O objetivo deste trabalho foi investigar se tendências de alterações climáticas poderiam estar ocorrendo, a nível mensal, para as variáveis velocidade média e pico máximo de vento no estado do Paraná.

Material e Métodos

Visando avaliar a existência ou não de tendências de alteração climática no estado do Paraná, foram usados aproximadamente 40 anos de registros mensais de velocidade do vento da rede de estações agrometeorológicas convencionais do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Foram utilizados registros de anemógrafos da marca Fuess, instalados a 10 m de altura, para a obtenção dos parâmetros velocidade média e velocidade do pico máximo. Foram analisadas seis localidades.

Londrina, Morretes e Paranavaí têm clima subtropical, Cfa segundo Köppen, com temperatura média no mês mais frio inferior a $18 \text{ }^\circ\text{C}$ e temperatura média no mês mais quente acima de $22 \text{ }^\circ\text{C}$, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. Guarapuava e Clevelândia têm clima Cfb - temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de $18 \text{ }^\circ\text{C}$, com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ e sem estação seca definida (Caviglione et al., 2000). Telêmaco Borba está na transição entre os dois tipos climáticos.

Buscou-se a existência ou não de tendência nas séries de velocidade do vento (valores médios mensais e pico máximo) utilizando o método de Mann-Kendall. As tendências positivas significam que houve aumento da variável ao longo do tempo e as negativas, decréscimo. Para obter a data de ruptura das séries e a quantificação das variações observadas foi utilizado o teste de homogeneidade de Pettitt. Ambos os métodos foram aplicados com nível de significância de 5% e, para essas análises, utilizou-se o software XLSTAT do MS-Excel.

A maioria das séries cobriu o período 1978-2017 (40 anos), com algumas variações em função da data de desativação das estações, como em Morretes e Telêmaco Borba (até 2015) e Clevelândia (até 2012), conforme apresentado na Tabela 1.

Resultados e Discussão

Foram encontradas tendências estatisticamente significativas de redução da velocidade média do vento para a maioria dos locais estudados (Tabela 2). As localidades com clima Cfa e Telêmaco Borba, que está na transição entre os tipos climáticos Cfa e Cfb, apresentaram tendências de redução do vento em praticamente todos os meses do ano. A redução em Londrina foi, em média, de 12%, enquanto Paranavaí teve 21%, Morretes teve 18% e Telêmaco Borba teve 9%. A data de ruptura dessas séries foi diferente para cada mês, variando entre 1988 e 2006, sendo que a maioria delas se concentrou na década de 1990. As datas de ruptura, teoricamente, representam

Tabela 1. Localização das estações agrometeorológicas do IAPAR, valores médios anuais da temperatura média e velocidade do vento e período de observação utilizado.

Local	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Temp. média (°C)	Vento (m.s ⁻¹)	Período de observação (anos)
Clevelândia	26°25'	52°21'	930	17,3	3,7	1978-2012 (35)
Guarapuava	25°21'	51°30'	1058*	17,2	2,9	1978-2017 (40)
Londrina	23°22'	51°10'	585	21,1	2,4	1977-2017 (41)
Morretes	25°30'	48°49'	59	20,8	1,3	1978-2015 (38)
Paranavaí	23°05'	52°26'	480	22,2	2,3	1978-2017 (40)
Telêmaco Borba	24°20'	50°37'	768	18,6	1,6	1977-2015 (39)

*Altitude de 1026 m a partir de 06/2005

Tabela 2. Tendências de alteração da velocidade média do vento nos locais estudados em função do mês de ocorrência.

Local	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Londrina	-	-	ns	-	ns	-	-	-	-	-	ns	-
Paranav.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T.Borba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Morretes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guarap.	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns
Clevel.	ns	ns	ns	-	ns							

Símbolo negativo (-), tendência significativa – (p<0,05); ns = não significativo (p>0,05)

Tabela 3. Tendências de alteração da velocidade do pico máximo de vento nos locais estudados em função do mês de ocorrência.

Local	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Londrina	ns	ns	ns	-	-	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns
Paranav.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns
T.Borba	ns	ns	-	ns								
Morretes	-	ns	ns	ns	ns	-	-	ns	ns	ns	ns	ns
Guarap.	-	-	ns	-	ns							
Clevel.	ns											

Símbolo negativo (-), tendência significativa – (p<0,05); ns = não significativo (p>0,05)

uma mudança súbita na estatística dos dados.

Nos locais com clima Cfb foram encontradas poucas tendências estatisticamente significativas, contudo mesmo essas foram negativas, ou seja, de redução da velocidade média do vento (Tabela 2). Com base nesses resultados, é possível concluir que o sul e centro-sul do Estado não têm sido tão afetados pela redução dos ventos quanto o restante do Paraná. O fato de as maiores reduções do vento estarem ocorrendo em Paranavaí, na região noroeste do Estado, concorda com Cardoso et al. (2016) que indicaram a região oeste dos estados do sul do Brasil como a que apresenta maior tendência de redução da velocidade do vento.

Com relação às velocidades extremas do vento, chamadas de pico máximo, não houve muitas tendências estatisticamente significativas. Embora elas também tenham sido todas negativas, ocorreram apenas em alguns poucos meses, para todos os locais (Tabela 3). As datas de

ruptura variaram entre 1992 e 2001.

Esses resultados contrariam a expectativa, pois seria de esperar um aumento nas velocidades máximas registradas para o vento, contudo, não é o que se observa.

Esses resultados suscitam dúvidas sobre o motivo da redução da velocidade do vento somente em parte do Estado do Paraná, o que dificulta a interpretação dos motivos para tal. Uma hipótese poderia estar associada à urbanização; outra à mudança na rugosidade da superfície devido a alteração no perfil da vegetação na área em que se localizam as estações. Tomando-se estações meteorológicas como as de Morretes e Clevelândia, que tiveram pouca alteração no seu entorno, observa-se que, mesmo assim, elas apresentaram resultados bastante diferentes uma da outra. Enquanto Morretes apresenta tendência de redução da velocidade média do vento em todos os meses, Clevelândia apresentou essa tendência somente em abril. Tais obser-

vações indicam a possibilidade de que eventos de magnitude regional estejam controlando essas alterações, assim como sugerido para o hemisfério norte por McCabe et al. (2001), que encontraram um decréscimo estatisticamente significativo na frequência de ciclones em latitudes médias e um aumento desses ciclones nas altas latitudes. O Paraná encontra-se em latitudes médias. Variações na frequência e intensidade dos ciclones extratropicais influenciam diretamente o clima superficial, com efeitos diretos nos ventos. O fato de existirem poucos estudos sobre velocidade do vento no hemisfério sul dificulta a identificação do motivo principal desta redução e aponta para a necessidade da realização de pesquisas.

Conclusões

Está havendo uma redução na velocidade média do vento para a maior parte do estado do Paraná, com exceção do Sul (Clevelândia) e Centro-Sul (Guarapuava), sem um período de concentração definido, ou seja, ao longo de todo o ano. Para o pico máximo de vento as tendências também foram sempre negativas e observadas no período de janeiro a julho. A redução da velocidade média do vento foi, em média, de 12% em Londrina, 21% em Paranavaí, 18% em Morretes e 9% em Telêmaco Borba. A data de ruptura dessas séries foi diferente para cada mês, sendo que a maioria delas se concentrou na década de 1990.

Referências Bibliográficas

Back, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001. <http://www.scielo.br/pdf/pab/v36n5/5544.pdf>

Cardoso, L. F. N.; Silva, W. L. e; Silva, M. G. A. J. Long-term trends in near-surface wind speed over the Southern hemisphere: a preliminary analysis. *International Journal of Geosciences*, vol. 7 n. 7 p. 938-943, 2016. <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=68613>

Caviglione, J. H.; Kiihl, L. R. B.; Caramori, P. H. e; Oliveira, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD. <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>

COPEL; Engenharia Eólica Camargo & Schubert e; LACTEC. **Atlas do Potencial Eólico do Paraná**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Curitiba, 2007, 53 p. http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas_do_Potencial_Eolico_do_Estado_do_Parana.pdf

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers**. Geneva: IPCC. 18p. 2007. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>

Santos, A. T. S. e; Silva, C. M. S. Seasonality, interannual variability, and linear tendency of wind speeds in the Northeast Brazil from 1986 to 2011. *Scientific World Journal*, V. 2013, 2013, 10 p. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3819939/>

Silva, M.E.S. e; Guetter, A.K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. *Terra Livre*, São Paulo, V. I, n. 20, p. 111-126, 2003. <http://docplayer.com.br/6222660-Mudancas-climaticas-regionais-observadas-no-estado-do-parana.html>

McCabe, G. J.; Clark, M. P. e; Serreze, M. C. Trends in Northern hemisphere surface cyclone frequency and intensity. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 14, p. 2763-2768, 2001. <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0442%282001%29014%3C2763%3AATINHSC%3E2.0.CO%3B2>

Wagner, C. S.; Bernardes, L. R. M.; Correa, A. R. e; Borrozzino, E. **Velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná**. IAPAR, 1989, 56p.

Watson, R. T.; Zinyowera, M. C., Moss, R. H. e; Dokken, D. J. **The regional impacts of climate change: An assessment of vulnerability**. A Special Report of IPCC Working Group II, Cambridge University Press, 517 p., 1998. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/regional/index.php?idp=0>

REFERENCIAÇÃO

OLIVEIRA, D.; BORROZZINO, E. Tendências de alteração da velocidade do vento no estado do Paraná. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.1, p.145-149, 2018.



Trends of change in wind velocity in Parana State, Southern Brazil

Dalziza de Oliveira^{1(*)} and Edmirson Borrozzino¹

¹Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR, Rodovia Celso Garcia Cid, km 375, CEP 86057-970 Londrina, PR, Brazil. E-mails: dalzizadeoliveira@gmail.com and sam@iapar.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 April 2018

Accepted 20 December 2018

Index terms:

climatology
climate change
wind velocity
extreme wind events
Mann-Kendal
Pettitt

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate if trends of changes in wind speed occur and, if so, in what time of the year they occur predominantly, for six locations in the state of Paraná, Brazil. For this, the Mann-Kendall method was used at a significance level of 5%. The trends were considered positive when there was increase of the variable over time and negative when there was a decrease. Pettitt homogeneity tests were also performed. For the average wind speed, all the studied locations showed a negative trend, without a defined period of concentration. For the maximum wind peak, trends were also always negative and observed in the period from January to July. The wind speed reduction in Londrina averaged 12%, while Paranavaí had 21%, Morretes had 18% and Telêmaco Borba had 9%. The change-point of these series was different for each month, with most of them happening in the 1990s.

© 2018 SBAGro. All rights reserved.

CITATION

OLIVEIRA, D.; BORROZZINO, E. Tendências de alteração da velocidade do vento no estado do Paraná. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.1, p.145-149, 2018.