

## CARACTERIZAÇÃO DO REGIME DE VENTOS NO ESTADO DO PARANÁ

LÍVIA M. P. PEREIRA<sup>1</sup>, PAULO H. CARAMORI<sup>2</sup>, WILIAN da S. RICCE<sup>3</sup>, DANILO A. B. SILVA<sup>4</sup>, DAISE F. ELY<sup>5</sup> JONAS GALDINO<sup>6</sup>, ANGELA B. da COSTA<sup>7</sup>.

1 Graduanda em Geografia, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Bolsista CNPq/IAPAR, Londrina- PR, livia\_mpp@yahoo.com.br.

2 PhD. Agrometeorologia, Bolsista do CNPq, Pesquisador do Instituto Agronômico do Paraná, IAPAR, Londrina – PR.

3 Eng. Agrônomo, MSc., Pesquisador Agroconsult Ltda, Londrina – PR.

4 Analista de sistemas, Agroconsult Ltda, Londrina – PR.

5 Prof. Dra. da Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Geociências.

6 Consultor, Agroconsult Ltda, Londrina – PR.

7 Meteorologista, MSc., Instituto Tecnológico SIMEPAR, Londrina – PR.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi caracterizar o regime de ventos no Estado do Paraná. Os dados analisados referem-se a 16 estações meteorológicas de primeira classe, pertencentes ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Foram determinadas a direção predominante do vento para cada região e da véspera de ocorrências de geada, além do cálculo das velocidades médias diárias, mensais e anuais, frequência relativa, distribuição da frequência relativa acumulada, distribuição estatística de valores extremos e os valores de picos máximos para períodos mensais e anuais de cada estação. Com os resultados de velocidade média foi possível caracterizar as velocidades médias diárias anuais e sugerir práticas de controle como o uso de quebra-ventos e, também, identificar locais com potencial de aproveitamento eólico. Os dados revelaram predominância de vento nordeste (NE) para a maioria dos locais analisados. Na véspera de ocorrência de geadas a direção predominante é Sudoeste (SW) para a maioria das localidades, associada às entradas de massas de ar frio com potencial para causar danos à agricultura.

**PALAVRAS-CHAVE:** velocidade do vento, climatologia, agricultura.

**TÍTULO EM INGLÊS: CHARACTERIZATION OF WIND REGIME IN THE STATE OF PARANA, BRAZIL.**

**ABSTRACT:** The objective of this work was to characterize the wind regime in the state of Paraná, Brazil. The data analyzed are from 16 first class weather stations from the network of Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). The results presented refer to prevailing wind direction for each region and on the eve of frost occurrences, as well as daily, monthly and yearly mean wind speed, relative frequency, distribution of the accumulated relative frequency, statistic distribution of the extreme values and wind gusts for monthly and yearly periods, all calculated for each one of the weather stations. With the results of mean wind speed it was possible to characterize the yearly daily means and to suggest control practices such as the use of windbreaks, and to identify places with potential to produce wind energy. The data revealed the prevalence of Northeast winds (NE) for most of the locations analyzed. On the eve of frost occurrence the prevailing direction is Southwest (SW) for most of the locations, associated to the penetration of cold air masses with potential to cause damage to agriculture.

**KEY WORDS:** wind speed, climatology, agriculture.

**INTRODUÇÃO:** O vento é uma das variáveis meteorológicas mais importantes e menos estudadas na agricultura. O vento influencia diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, podendo reduzir o seu potencial produtivo quando ocorre acima de determinados limites característicos do nível de tolerância de cada espécie. Com base no conhecimento do regime dos ventos (velocidade e direção) é possível planejar a instalação de quebra-ventos com diferentes propósitos, como no caso da cultura do café que necessita de proteção contra os ventos frios que provocam a chamada “geada negra” ou geada de vento. Outro importante aproveitamento do conhecimento do regime dos ventos é referente à aplicação de defensivos agrícolas, além da sua utilização como fonte de energia renovável. Wagner et al. (1989) realizaram um estudo preliminar dos ventos no estado do Paraná, mostrando que eles se encontram entre os quadrantes NE, E e SE. Durante os meses do ano as médias diárias mensais variaram em torno da média anual, ocorrendo uma concentração de valores maiores que a média anual durante os meses de setembro, outubro e novembro.

Atualmente, com a disponibilidade de séries de dados meteorológicos de longa duração, é possível realizar análises mais consistentes, gerando informações de grande importância para a sociedade paranaense. Portanto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o regime dos ventos no Paraná, com a finalidade de aperfeiçoar as explorações agrícolas e ampliar o aproveitamento energético.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram utilizados registros de anemógrafos tipo 82a e 82b da marca R.Fuess, cujo sensores estão instalados a 10 metros acima do nível do solo, referentes ao período de 1976 a 2007, de 16 estações da rede do IAPAR, localizadas nos municípios de Cambará, Bandeirantes, Ibiporã, Londrina, Paranavaí, Cianorte, Palotina, Telêmaco Borba, Cascavel, Laranjeiras do Sul, Guarapuava, Clevelândia, Ponta Grossa, Lapa, Pinhais e Morretes. A velocidade média dos ventos foi obtida a partir do total diário acumulado, cotado com base nos anemogramas. Assim, foram geradas as médias diárias mensais e anuais para cada estação meteorológica, como também foram calculados os intervalos de classe dos dados. Para as análises de velocidades médias diárias a diferentes níveis de probabilidades utilizou-se a distribuição estatística de valores extremos denominada de Gumbel. A função de probabilidade acumulada da distribuição de Gumbel é:

$$F(v) = \exp\{ \exp[ + \alpha (v + \beta)] \}$$

Em que  $\alpha$  e  $\beta$  são, respectivamente, os parâmetros de locação e de forma da distribuição e são estimados a partir da média  $v$  e do desvio padrão  $S$  da série de dados observados. As estimativas dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  foram obtidas pelo método dos momentos.

A direção predominante foi caracterizada por meio de uma análise de frequência das observações diárias do vento em cada um dos quadrantes: N, NE, E, SE, S, SW, W e NW.

Por meio da análise dos dados diários, também foi computada a direção do vento da véspera de ocorrência de geadas. Nesta análise, caso a geada persistisse por mais de um dia, considerou-se somente a véspera do primeiro dia de ocorrência, quando ocorre a entrada da massa de ar frio. Assumiu-se que ocorreram geadas sempre que as temperaturas mínimas no interior do abrigo meteorológico eram inferiores a 1°C.

Os picos máximos obtidos por meio da cotação dos anemogramas foram utilizados para identificar os picos máximos para períodos anuais de cada estação.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os locais que apresentaram as maiores velocidades médias diárias anuais, com valores acima de 3 ms<sup>-1</sup> foram Cascavel, Clevelândia e Ponta Grossa. Os valores abaixo de 2ms<sup>-1</sup> foram encontrados em Morretes e Telêmaco Borba. As médias oscilaram entre 2ms<sup>-1</sup> e 3ms<sup>-1</sup> para as demais cidades. Observam-se maiores velocidades médias do vento durante o inverno e primavera, sendo setembro o mês que apresentou os

maiores valores. Por outro lado, valores abaixo da média anual foram registrados no verão e outono, havendo valores médios bem próximos entre os meses. Resultados semelhantes aos observados foram encontrados por Silva et al. (1997) para Pelotas. Por meio da distribuição de frequência das velocidades médias diárias do vento (Tabela 1), foi possível uma melhor análise e comparação com os dados de velocidade média diária, mostrando uma ampliação da concentração dos dados que ficou entre as velocidades de 1,5 e 3,5  $\text{ms}^{-1}$ .

**Tabela 1. Frequência de velocidade do vento (dias), obtida das séries com anos completos. n = número de observações.**

Município	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	n
Cambará	13	281	1791	2510	2141	1493	1044	747	493	342	254	161	105	73	29	14	7	1	1	1	11501
Bandeirantes	1	112	862	1655	1462	890	609	445	314	277	218	177	118	89	77	44	21	9	6	1	7387
Londrina	2	51	1259	3345	2729	1711	1124	671	364	209	96	37	11	6	1	0	0	0	0	0	11616
Ibipora	0	30	945	2870	2841	1933	1268	790	428	235	124	39	17	9	0	1	0	0	0	0	11530
Paranavaí	4	375	1465	2273	2363	1945	1263	650	312	134	58	29	12	3	1	1	0	0	0	0	10888
Cianorte	2	60	1102	2738	2606	1564	820	328	137	57	9	5	1	1	0	0	0	0	1	0	9431
Telêmaco Borba	1	887	4362	3485	1465	558	220	72	31	6	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	11095
Pinhais	2	105	1062	1375	804	389	149	47	17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3955
Palotina	9	874	2882	2999	2034	1233	705	398	190	102	37	26	8	6	1	1	0	0	0	0	11505
Cascavel	0	4	75	362	946	1505	1572	1236	918	554	400	278	157	106	37	25	14	5	0	0	8194
Morretes	377	3007	4144	2376	655	182	81	50	31	29	9	8	3	1	1	0	0	0	0	0	10954
Lapa	0	8	320	1025	1759	1633	1158	669	286	114	57	16	6	1	2	0	0	0	0	0	7054
Ponta Grossa	1	14	279	841	1319	1565	1427	1352	1051	707	485	299	150	74	32	18	12	3	2	0	9631
Guarapuava	0	39	606	2120	2298	1817	1310	944	672	470	299	222	125	71	25	25	8	4	2	2	11059
Laranjeiras do Sul	6	181	1295	3140	2709	1729	968	476	245	121	62	23	14	2	6	3	0	1	0	0	10981
Clevelândia	0	2	17	272	1024	1866	2184	1940	1410	1020	627	363	242	105	65	22	14	9	3	2	11187

Na tabela 2 encontram-se os valores de velocidade média diária com probabilidades de não serem extrapolados em 50, 90, 95 e 99%. Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia foram os locais que apresentaram os maiores valores, com 10% dos seus dados igual ou acima de 4,1, 3,7 e 3,9  $\text{m}^{-1}$  respectivamente. Já cidades como Telêmaco Borba, Morretes e Palotina, que já têm suas médias anuais baixas obtiveram na mesma porcentagem valores de 1,8, 1,5 e 2,1  $\text{m}^{-1}$ .

**Tabela 2 - Velocidades médias diárias ( $\text{ms}^{-1}$ ) observadas em diferentes níveis de probabilidade.**

P(V ≤ v) Local	0,50	0,90	0,95	0,99
Cambará	2,6	2,8	2,9	3,2
Bandeirantes	2,8	3,2	3,3	3,6
Londrina	2,4	2,6	2,7	2,8
Ibiporã	2,5	2,9	3,0	3,4
Paranavaí	2,3	2,8	3,0	3,5
Cianorte	2,2	2,5	2,5	2,7
Telêmaco Borba	1,6	1,8	1,8	1,9
Palotina	2,0	2,1	2,2	2,3
Cascavel	3,5	4,1	4,3	4,9
Morretes	1,3	1,5	1,5	1,7
Pinhais	2,3	2,5	2,6	2,9
Lapa	2,7	2,9	2,9	3,1
Ponta Grossa	3,4	3,7	3,8	4,1
Guarapuava	2,9	3,1	3,2	3,4
Laranjeiras do Sul	2,3	2,6	2,7	2,9
Clevelândia	3,7	3,9	4,1	4,3

Cada cultura tem uma velocidade do vento ótima para seu desenvolvimento. Experimentos com plantas individuais de café mostraram que velocidades acima de 2 e 3  $\text{ms}^{-1}$  já prejudicavam o crescimento das plantas (CARAMORI et al., 1986). Devido a esses fatores causados pelo efeito do vento na produção agrícola é apropriada a utilização de quebra ventos. A partir de uma análise dos resultados para cada localidade de estudo, as regiões de Cascavel,

Clevelândia e Ponta Grossa seriam as áreas mais destacadas para a implantação desse anteparo. Quanto à energia eólica, a análise feita por meio da distribuição da velocidade média diária e da distribuição de extremos para as 16 estações estudadas indicou locais como Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia, como os prováveis para a utilização desse tipo de energia no Paraná, devido a 50 % de suas velocidades médias diárias terem seus valores mínimos entre  $3,4$  a  $4,5 \text{ ms}^{-1}$ , consideradas médias mínimas de velocidades para acionar os aerogeradores.

Os dados revelam predominância de vento nordeste (NE) para a maioria das localidades estudadas, sendo elas, Paranavaí, Palotina, Clevelândia, Guarapuava, Ponta Grossa, Cascavel e Morretes. A segunda direção de maior ocorrência foi Leste (E), para Londrina, Cianorte, Laranjeiras do Sul, Lapa e Pinhais. Em seguida verificou-se a direção sudeste (SE), para as localidades de Bandeirantes, Ibiaporã, Cambará e Telêmaco Borba (Figura 1).

Segundo Nimer (1989), ventos de noroeste e de sudeste no hemisfério sul são genericamente conhecidos como ventos Alísios e estão relacionados ao Centro de Alta Pressão do Atlântico. Estes sistemas de ventos têm duas direções principais que são nordeste e leste durante a primavera e o verão e sudeste durante o outono e o inverno. Outro fator que conduz o movimento atmosférico do Paraná são as frentes frias, de periodicidade irregular, que variam a direção do vento em  $360^\circ$ .

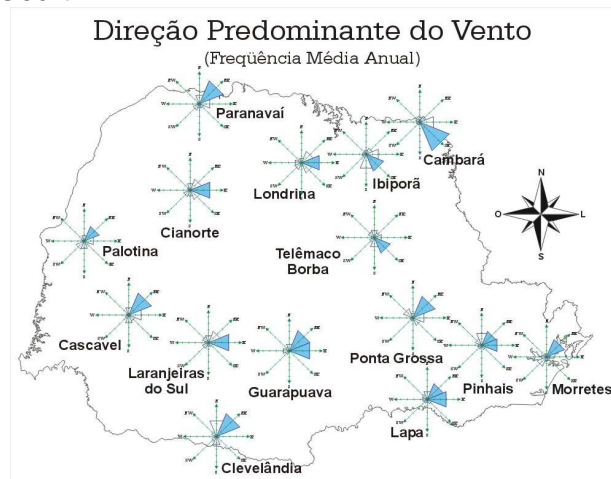


Figura 1. Predominância da direção dos ventos no Paraná.

A figura 2 apresenta as direções das vésperas de dias propícios à ocorrência de geadas que demonstram predominância da direção SW, em 10 das 16 estações analisadas, sendo O a segunda direção mais frequente, e NE a terceira.



Figura 2. Direção do vento na véspera de dias propícios à geada no Paraná.

Londrina revelou o maior valor do estado, com um registro de pico máximo de  $50\text{ms}^{-1}$ , porém poucos valores acima de  $30\text{ms}^{-1}$ . Cambará, Bandeirantes, Ibiporã, Palotina, Clevelândia, Cascavel, Telêmaco Borba, Lapa, Ponta Grossa e Morretes registraram valores que foram de 30 a  $40\text{ms}^{-1}$ . Os dados evidenciam uma baixa correlação entre as velocidades instantâneas altas e a velocidade média diária, já que Morretes, com valores baixos de ventos apresentou valores iguais a Cascavel, considerado um dos locais com as médias de vento mais elevadas. Os menores picos foram encontrados em Cianorte, Paranavaí, Guarapuava, Laranjeiras do Sul e Pinhais, não ultrapassando a velocidade de  $30\text{ms}^{-1}$ . Os ventos extremos se originam de sistemas meteorológicos, sendo os sistemas convectivos de mesoescala e os sistemas de grandes escalas (frontais e linhas de instabilidade) os mais relevantes. Estes sistemas são fenômenos meteorológicos que ocorrem em escala de dimensões da ordem de 1 quilômetro até cerca de centenas de quilômetros, com duração de 1 hora a 1 dia (SILVA et al., 2005).

**CONCLUSÃO:** Os resultados permitem concluir que no inverno e primavera, os ventos sopram com intensidade superior à média, sendo o mês de setembro o que apresentou os maiores valores. No verão e outono os ventos têm valores abaixo da média, apresentando valores médios bem próximos entre os meses.

Os dados de velocidade média dos ventos indicam potencial eólico passível de ser explorado nos municípios de Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia dentre os locais analisados, sendo também as áreas mais destacadas para a implantação de quebra-ventos.

Na maior parte do ano há predominância de ventos de NE para a maioria dos locais estudados, sendo a segunda direção de maior ocorrência E, seguida de SE. A análise da direção do vento na véspera de ocorrência de geadas evidenciou predominância da direção SW para a maioria das estações.

**AGRADECIMENTO:** Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica ao primeiro autor.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

CARAMORI, P.H.; OMETTO, J.C.; NOVA, N.A.V.; COSTA, J.D. Efeitos do vento sobre mudas de café Mundo Novo e Catuaí Vermelho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.21, p.1113 –1118, 1986.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1989. 421p.

SILVA, E.M. da; SILVA, V. L. C.; SILVA, W.D.da. Análise das condições de instabilidade atmosférica associadas à ocorrência de um sistema convectivo de mesoescala sobre a região metropolitana de Fortaleza- CE. Tecnologia, Fortaleza, v. 26, n. 1, p. 91-98, jun. 2005.

SILVA, J.B.; ZANUSSO, J.F.; SILVEIRA, D.L.M. Estudo da velocidade e direção do vento em Pelotas, RS. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.5, n.2, p. 227-235, 1997.

WAGNER, C.S. Velocidade e direção predominante dos ventos no estado do Paraná. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1989. 56p. (Boletim técnico, 26).