

IV-617 – A VARIABILIDADE DO VENTO EM AGOSTO E DEZEMBRO DE 2021 ÀS MARGENS DO LAGO PARANOÁ, BRASÍLIA-DF, BRASIL

Alice Rocha Pereira⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Brasília. Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (PTARH/UnB). Doutoranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (PTARH/UnB).

Thaís Salvador Argenta⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Mestre em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutoranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (PTARH/UnB).

Rejane Ennes Cicerelli⁽³⁾

Engenheira Cartográfica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Mestre e Doutora em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professora Adjunta da Universidade de Brasília.

Sergio Koide⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília. Mestre em Engenharia Civil (recursos hídricos) pela COPPE-UFRJ e PhD pelo Imperial College London. Professor Associado da Universidade de Brasília.

Endereço⁽¹⁾: Universidade de Brasília, SG-12. Campus Universitário Darcy Ribeiro. Asa Norte - Brasília - DF - CEP: 70910-900 - Brasil - Tel: +55 (61) 3107-0940 – e-mail: alice_rp@hotmail.com.

RESUMO

O vento é uma forçante meteorológica importante quando se trata da dinâmica de lagos e reservatórios, podendo influenciar a temperatura da água, o transporte, a distribuição e ressuspensão de partículas e nutrientes, na desestratificação ou não do lago. Com o intuito de avaliar a variabilidade temporal e espacial do vento no lago Paranoá, Brasília-DF, Brasil, nos meses de agosto e dezembro de 2021, foram analisados dados monitorados em quatro estações anemométricas às margens do lago e comparados aos dados da Estação Meteorológica do INMET, localizada a uma maior distância do lago. Verificou-se a variabilidade espacial e temporal do vento na unidade hidrográfica, tanto em intensidade quanto em direção. Dessa forma, quando esse fator não é considerado de forma representativa, a modelagem do lago pode, portanto, levar a resultados e análises imprecisos e equivocados quanto a dinâmica do lago, sendo assim, imprescindível a continuidade e expansão do monitoramento.

PALAVRAS-CHAVE: vento, lago Paranoá, monitoramento.

INTRODUÇÃO

As forçantes meteorológicas podem exercer papel trivial na dinâmica dos lagos, em especial, o vento. Por meio da transferência de energia e turbulência para as correntes na camada superficial de mistura (epilímnio), o vento influencia a velocidade e o caminho a ser percorrido por partículas presentes no lago, além de sua distribuição, o transporte e a ressuspensão de partículas, como os sedimentos, e de nutrientes, tornando-os novamente disponíveis na coluna d'água (Juntunen *et al.*, 2019, Shi *et al.*, 2022, Zhu *et al.*, 2021, Jin *et al.*, 2022) podendo levar a alterações ecológicas, como a alteração da estrutura de macroinvertebrados e das algas e a floração de cianobactérias (Yao *et al.*, 2019, Peng *et al.*, 2022, Faria *et al.*, 2021).

Lagos podem ter sua dinâmica dominada pelo vento em determinadas regiões ou em toda sua extensão (Yao *et al.*, 2019; Budinski e Fabian, 2012). Geralmente, lagos com maior *fetch* (comprimento do lago no qual o vento age) tendem a possuir o epilímnio mais profundo. O vento faz com que haja inclinação da termoclina em lagos estratificados podendo gerar o aprofundamento dessa camada ou, também, a produção de ondas internas (seiches) o aumento de fluxo e da mistura no metalímnio e hipolímnio, reduzindo condições de anoxia, levando até a desestratificação (Jalil *et al.*, 2018, Dorostkar *et al.*, 2022, Filonov *et al.*, 2022, MacIntyre e Melack, 2009).

Devido à sua importância para a dinâmica dos lagos e, por conseguinte, para a modelagem e gestão de tais corpos hídricos, o monitoramento de vento e a construção de um banco de dados com séries históricas de vento são essenciais. No entanto, ainda assim, em face a falta de estações anemométricas e de dados, geralmente, usa-se dados da estação mais próxima da área de estudo, considerando-a como representativa de toda região, o que leva resultados e interpretações imprecisas e com erros. Portanto, é necessária a escolha adequada da localização, quantidade e de quais estações devem ser utilizadas para a modelagem e previsão de eventos (Beletsky *et al.*, 2013, Brunet *et al.* 2022).

Diante do exposto, no presente trabalho, foi realizado o monitoramento de velocidade e direção do vento às margens do lago Paranoá, localizado em Brasília-DF (Brasil), e analisado conjuntamente com os dados da estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada a uma maior distância do lago.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade do vento nos meses de agosto e dezembro de 2021, monitorado em 4 estações anemométricas localizadas às margens do lago Paranoá de Brasília, além de comparar com os dados monitorados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

MATERIAIS E MÉTODOS

A rede de monitoramento do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH-UnB) é composta por 4 anemômetros, dispostos nos diferentes braços às margens do lago Paranoá, a saber:

- Anemômetro 1 (BARRAGEM, 2m): localizado na barragem do lago Paranoá – braço central (C).
- Anemômetro 2 (EB, 10m): localizado na Estação Experimental da Biologia da UnB – braço (E).
- Anemômetro 3 (ETESul, 10m): localizado na ETE Sul de Brasília – braço do Riacho Fundo (A).
- Anemômetro 4 (LN, 10m): localizado na ETA compacta do Lago Norte – braço do Torto (D).

A localização dos pontos de monitoramento de vento na área de estudo é apresentada na Figura 1.

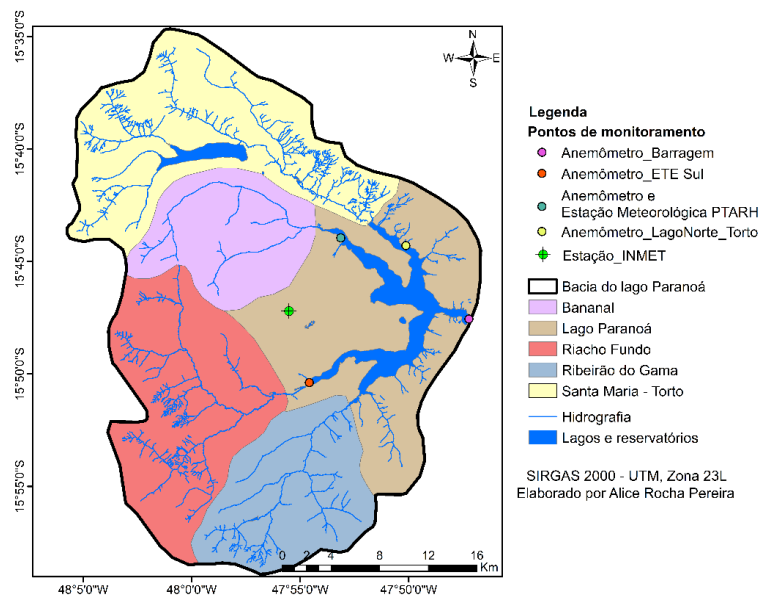


Figura 1. Rede de monitoramento do PTARH (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos - UnB) na bacia do lago Paranoá.

Os anemômetros instalados são capazes de medir velocidades de até 67m/s com 2% de precisão e em todas as direções (360°) com uma resolução de 22.5° e precisão de 22.5°. Os anemômetros possuem um *logger* que permite configurar os intervalos de medição, armazenar e capturar dados (velocidade média, rajada de vento e direção média) por meio do software (RainWise Inc., 2009).

Além de tais equipamentos, o INMET também mede velocidade e direção do vento na bacia do lago Paranoá, ainda na Unidade Hidrográfica do lago Paranoá, entretanto, distante do lago. A frequência de amostragem de

dados de velocidade e direção do vento é de 5 minutos nos anemômetros BARRAGEM, EB, ETESul e LN, enquanto, os dados fornecidos pelo INMET (10m) são horários.

Os dados de velocidade do vento, no caso da estação da Barragem, medidos a 2m, foram convertidos para velocidades a 10m por meio da equação 1 (Tubelis e Nascimento, 1986). Onde, U_1 corresponde a velocidade do vento a 10m, U_2 é a velocidade do vento medida z_1 e z_2 são as alturas das medições de velocidade, respectivamente.

$$\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^{0.143} \quad \text{equação (1)}$$

Para a classificação das direções correspondentes às medidas em graus considerou-se a precisão e posicionamento dos anemômetros, dessa forma, assumiu-se as direções:

- 0° a 11.25°: N
- 11.25° a 78.75°: NE
- 78.75° a 101.25°: E
- 101.25° a 168.75°: SE
- 168.75° a 191.25°: S
- 191.25° a 258.75°: SW
- 258.75° a 281.25°: W
- 281.25° a 348.75°: NW
- 348.75° a 360°: N

Adicionalmente, para o tratamento dos dados obtidos em campo utilizou-se o software R e os pacotes *openair* (Carslaw e Ropkins, 2012), *lubridate* (Grolemund e Wickham, 2011), *ggplot2* (Wickham, 2016) e *dplyr* (Wickham *et al.*, 2022).

RESULTADOS OBTIDOS

A partir dos dados monitorados foram plotadas as rosas dos ventos para cada estação nos meses de estudo (agosto e dezembro, Figura 2).

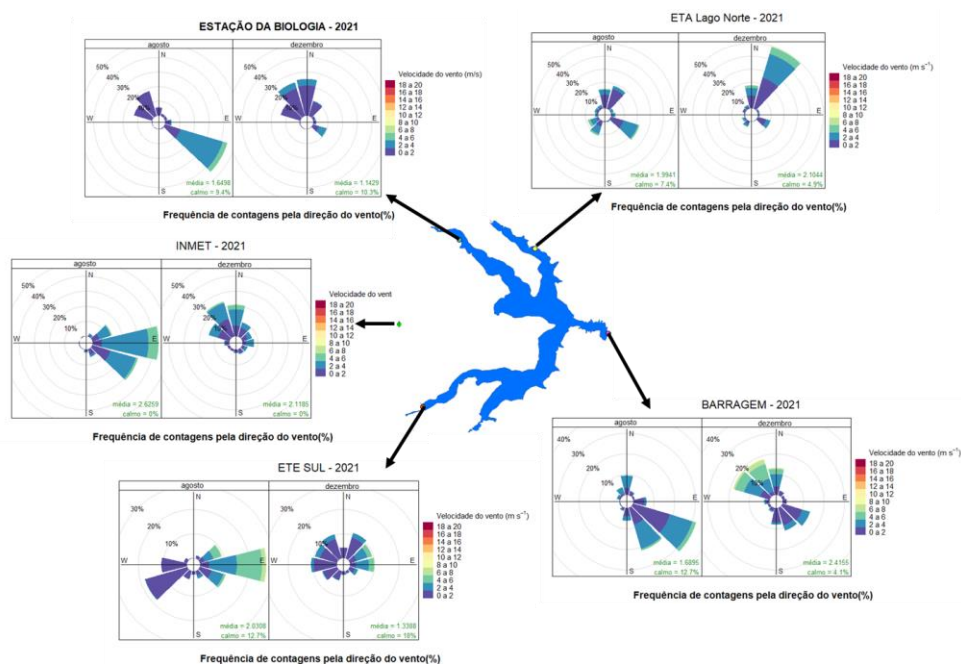


Figura 2. Rosa dos ventos para os anemômetros da Barragem, ETA Lago Norte, ETE Sul, Estação da Biologia e INMET para os meses de agosto e dezembro/2021.

A direção predominante dos ventos e sua frequência relativa para os meses de agosto e dezembro/2021 e para cada uma das estações de estudo são apresentadas na Figura 3. Enquanto na Figura 4 é mostrada a intensidade e direção das velocidades máximas e rajadas ocorridas no mês correspondente para cada uma das estações.

A densidade dos valores de velocidade do vento para cada estação, bem como sua média, é apresentada em gráfico violino para cada estação na Figura 5 e os valores máximos, médios e mínimos de velocidade do vento, rajada e direção do vento são apresentados na Tabela 1.

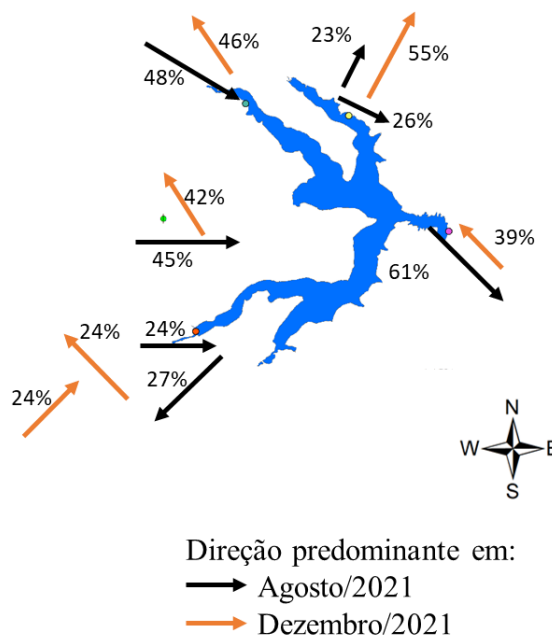


Figura 3. Direção predominante do vento nos meses de agosto e dezembro/2021 e a frequência relativa.

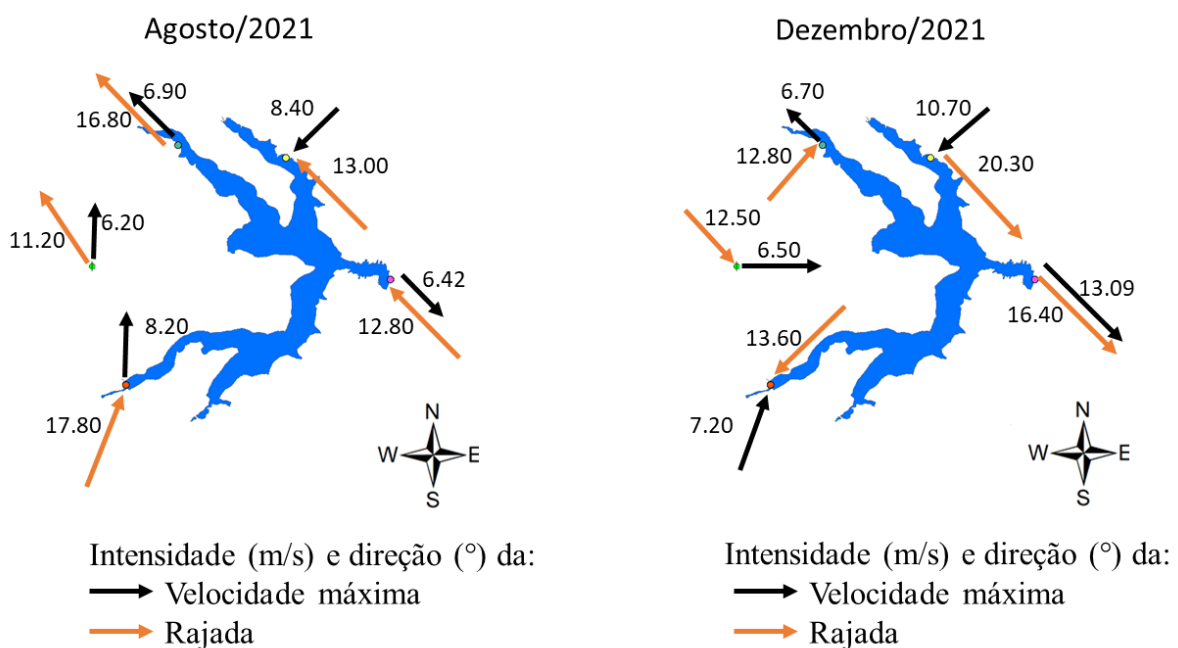


Figura 4. Figuras representando a velocidade (valores) e a direção da velocidade máxima e da rajada para os meses de agosto e dezembro/2021.

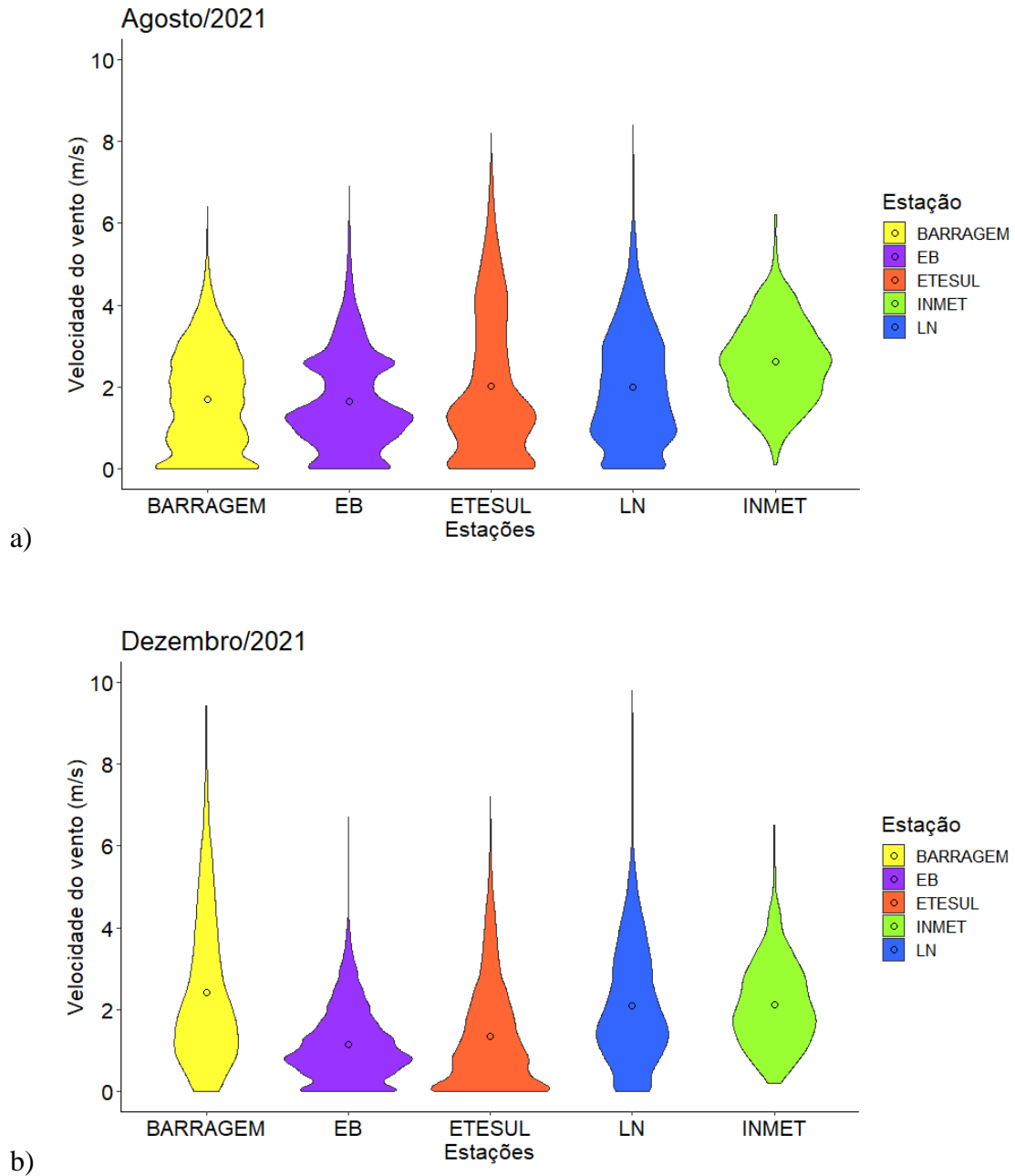


Figura 5. Gráfico violino mostrando a densidade de dados em cada faixa de velocidade e a velocidade média (círculo) para cada estação: Barragem, EB (Estação da Biologia), ETE Sul, LN (Lago Norte) e INMET nos meses de a) Agosto/2021 e b) Dezembro/2021.

Tabela 1. Tabela comparativa de mínima, média e máxima velocidade do vento a 10m, rajada e direção do vento para as estações da Barragem, Estação da Biologia, Lago Norte, ETE Sul e INMET.

Estação	Velocidade do vento (m/s)	Rajada (m/s)	Direção do vento (°)
BARRAGEM – Ago/2021 (n = 8919)			
Mínimo	0.0	0.0	1.0
Média	1.69	2.71	166.5
Máximo	6.42 (332°/SE)	12.80 (133°/NW)	360.0
BARRAGEM – Dez/2021 (n = 6874)			
Mínimo	0.0	0.0	1.0
Média	2.41	3.35	232.8
Máximo	13.09 (337°/SE)	16.40 (323°/SE)	360.0
EB – Ago/2021 (n = 8919)			
Mínimo	0.00	0.00	1.0
Média	1.65	3.145	205.9
Máximo	6.90 (133°/NW)	16.80 (157°/NW)	360.0
EB – Dez/2021 (n = 8316)			
Mínimo	0.00	0.00	1.0
Média	1.143	2.63	243.7
Máximo	6.70 (127°/NW)	12.80 (46°/NE)	360.0
LN – Ago/2021 (n = 8919)			
Mínimo	0.0	0.0	1.0
Média	1.99	3.53	174.8
Máximo	8.40 (235°/SW)	13.00 (124°/NW)	360.0
LN – Dez/2021 (n = 8919)			
Mínimo	0.0	0.0	1.0
Média	2.10	3.49	118.7
Máximo	10.70 (229°/SW)	20.30 (331°/SE)	360.0
ETESUL – Ago/2021 (n = 8919)			
Mínimo	0.0	0.0	3.0
Média	2.03	3.26	160.1
Máximo	8.20 (91°/N)	17.80 (80°/NE)	360.0
ETESUL – Dez/2021 (n = 8920)			
Mínimo	0.0	0.0	1.0
Média	1.34	2.66	193.9
Máximo	7.20 (78°/NE)	13.60 (227°/SW)	360.0
INMET – Ago/2021 (n = 2232)			
Mínimo	0.10	0.70	28.0
Média	2.63	5.71	103.5
Máximo	6.20 (87°/N)	11.20 (111°/NW)	351.0
INMET – Dez/2021 (n = 2232)			
Mínimo	0.20	0.80	1.0
Média	2.12	4.94	219.2
Máximo	6.50 (355°/ E)	12.50 (344°/SE)	360.0

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para o mês de agosto/2021, a maior frequência de ventos se deu na direção SE (estações Barragem, LN, EB e INMET), enquanto na estação ETE Sul, a predominância do vento não ficou bem definida já que há 27% dos dados na direção SW e 24% na direção E (Figura 3).

Já no mês de dezembro/2021 as maiores frequências foram nas direções NW (Barragem, EB e INMET), seguida pela direção NE (LN) No caso da estação ETESul, em dezembro/2021, há predominância nas direções NW (24%) e NE (25%), não estando bem definida tendo em vista que os dados estão bem distribuídos entre essas duas direções (Figura 3).

No estudo de Maggiotto *et al.* (2013), realizado na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília foram analisados dados de vento entre 2010 e 2013. As direções predominantes durante o dia no período foram NE e E, e durante a noite, S e SE, enquanto os maiores valores de velocidade máxima ocorreram nas direções W ou NE. Os autores não observaram direção do vento predominante muito definida para a análise dos dados de vento para o dia inteiro (24h). A máxima velocidade observada foi de 14.49m/s no mês de Outubro já no presente estudo, a velocidade máxima encontrada entre os dois meses foi 13.09m/s (Tabela 1).

Diante do exposto, pode-se observar a diferença evidente de comportamento do vento quanto velocidade e direção nos pontos analisados, às margens do lago e do INMET, tanto quando se compara entre os meses analisados, quanto entre as próprias estações, como também pode ser visto na Figura 1.

Devido ao fato de o padrão de vento no lago Paranoá não ser uniforme (Figura 2 e Figura 5), tanto espacial quanto temporalmente, a adoção de apenas uma estação (INMET), como geralmente é realizado (Figura 4, Figura 5 e Tabela 1), assumindo representatividade pode levar a propagação de erros, incertezas e baixo desempenho na modelagem.

Além disso, no caso do lago Paranoá, considerando que cada um dos braços/compartimento possui um formato e comprimento diferente (portanto, *fetches* distintos), deve-se estudar se a atuação do vento causa o aprofundamento do epilânio no(s) braço(s) com maior *fetch* e comportamento diferenciado entre os compartimentos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O monitoramento às margens do lago Paranoá e, por conseguinte, a maior densidade de dados de velocidade, rajada e direção do vento possibilitam o estudo do campo de vento e sua variabilidade na unidade hidrográfica do lago Paranoá, comparando-se também com a estação de monitoramento do INMET.

A partir de tal análise, verificou-se que o vento possui variabilidade espacial e temporal na unidade hidrográfica, podendo ser prejudicial adotar apenas a estação do INMET como representativa na bacia, sendo imprescindível a continuidade e expansão do monitoramento.

Quanto aos dados monitorados, em agosto de 2021, a maior frequência de ventos se deu na direção SE, sendo que a maior velocidade máxima no período foi de 13.09m/s com direção SE na estação Barragem. Enquanto no mês de dezembro de 2021 as maiores frequências foram na direção NW e a maior velocidade máxima no período foi de 8.40m/s com direção SW na estação localizada na ETA compacta do Lago Norte.

Para os próximos estudos, serão realizadas análises ao longo do ano todo e de correlação entre as estações, além de analisar a influência da frequência de medições e representatividade dos resultados obtidos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida, a FAP-DF, ANA e CAPES pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELETSKY, D.; HAWLEY, N.; RAO, Y.R. (2013). Modeling summer circulation and thermal structure of Lake Erie. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, p. 6238-6252.
2. BRUNET, D.; VALIPOUR, R.; RAO, Y.R. (2022). Wind variability over a large lake with complex topography: Lake of the Woods. *Journal of Great Lakes Research* [in press]. DOI: 10.1016/j.jglr.2022.08.019.
3. BUDINSKI, L.; FABIAN, D. (2012). Flow patterns of shallow Palic lake induced by the dominant winds. *Facta Universitatis, Architecture and Civil Engineering*, 10(1), p. 55-67.
4. CARSLAW, D.C.; ROPKINS, K. (2012). *openair* – An R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, 27-28, p. 52-61.
5. DOROSTKAR, A.; BOEGMAN, L.; SCHWEITZER, S.A.; POLLARD, A. (2022). Three-dimensional numerical simulation of basin-scale internal waves in a long narrow lake. *Environmental Fluid Mechanics*.

6. FARIA, D.M. de; CARDOSO, L. de S.; MARQUES, D.M. (2021). Cold fronts induce changes in phytoplankton structure in a shallow lake: Wind forces drive algae succession and nutrient availability. *Limnologia*, 91, 125926.
7. FILONOV, A.; TERESHCHENKO, I.; BARBA-LOPEZ, M. del R.; ALCOGER, J.; LADAH, L. (2022). Meteorological regime, local climate, and hydrodynamics of Lake Alchichica. In: Alcocer, J. (eds) *Lake Alchichica Limnology*. Springer, Cham.
8. GROLEMUND, G.; WICKHAM, H. (2011). Dates and Times Made Easy with lubridate. *Journal of Statistical Software*, 40(3), p. 1–25.
9. JALIL, A.; LI, Y.; DU, W.; WANG, W.; WANG, J. GAO, X.; KHAN, H. O. S.; PAN, B.; ACHARYA, K. (2018). The role of wind field induced flow velocities in desestratification and hypoxia reduction at Meiling Bay of large shallow Lake Taihu, China. *Environmental Pollution*, 232, p. 591-602.
10. JIN, H.; VAN LEEUWEN, C.H.A.; VAN DE WAAL, D.B.; BAKKER, E.S. (2022). Impacts of sediment resuspension on phytoplankton biomass production and trophic transfer: Implications for shallow lake restoration. *Science of the Total Environment*, 808, 152156.
11. JUNTUNEN, J.; ROPPONEN, J.; SHUKU, T.; KROGERUS, K.; HUTTULA, T. (2019). The effect of local wind field on water circulation and dispersion of imaginary tracers in two small connected lakes. *Journal of Hydrology*, 579, 124137.
12. MACINTYRE, S.; MELACK, M. (2009). Mixing Dynamics in Lakes across Climatic Zones. In: Likens, G.E., Ed., *Encyclopedia of Inland Waters*, Elsevier, Amsterdam, p. 603-612.
13. MAGGIOTTO, S.R.; FERREIRA, F.M.S.; MAXIMIANO, C.V. (2013). Um estudo da velocidade e direção predominante do vento em Brasília, DF. XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Belém – PA, Brasil.
14. PENG, K.; CAI, Y.; QIN, B.; GONG, Z. (2019). The effect of wind speed decline on macroinvertebrates in Lake Taihu, China. *Science of the Total Environment*, 66, p. 481-489.
15. RainWise Inc (2009). RainWise WindLog: User's Guide. Rev.D. 24p.
16. SHI, W.; ZHU, L.; DAM, B.V.; SMYTH, A.R.; DENG, J.; ZHOU, J.; PAN, G.; YI, Q.; YU, J.; QIN, B. (2022). Wind induced algal migration manipulates sediment denitrification N-loss patterns in shallow Taihu Lake, China. *Water Research*, 209, 117887.
17. TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. do. (1986). *Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras*. São Paulo. Editora Nobel. 374p.
18. WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K. (2022). dplyr: A Grammar of Data Manipulation. Disponível em: <https://dplyr.tidyverse.org>.
19. YAO, J.; LI, YUNLIANG, L.; ZHANG, D.; ZHANG, Q.; TAO, J. (2019). Winds effect on hydrodynamics and implications for ecology in a hydraulically dominated river-lake floodplain system: Poyang Lake. *Journal of Hydrology*, 571, p. 103-113.
20. ZHU, L.; SHI, W.; ZHOU, J.; YU, J.; KONG, L.; QIN, B. (2021). Strong turbulence accelerates sediment nitrification-denitrification for nitrogen loss in shallow lakes. *Science of the Total Environment*, 761, 143210.