

Caracterização da direção e da velocidade do vento na cidade de Ponta Grossa/PR

Vivian Machado (UTFPR/Câmpus Ponta Grossa) vivian_machadoo@yahoo.com.br

Thiago Antonini Alves (UTFPR/Câmpus Ponta Grossa) thiagoaalves@utfpr.edu.br

Yara de Souza Tadano (UTFPR/Câmpus Ponta Grossa) yaratadano@utfpr.edu.br

Resumo: O conhecimento das condições climáticas de uma região, principalmente das características do vento, está diretamente relacionado à dispersão de gases e poluentes atmosféricos em áreas urbanas. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar as características de direção predominante e velocidade do vento na cidade de Ponta Grossa, localizada na Região dos Campos Gerais no estado do Paraná, a fim de serem utilizados como parâmetros de entrada em aplicação de estudo de dispersão de poluentes atmosféricos. Os dados utilizados no estudo foram fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), apresentando frequência horária, ao longo dos meses dos anos de 2016 e 2017. O *software* utilizado para análise dos dados foi o WRPLOT ViewTM versão 8.0.2. Os dados foram apresentados em frequência horária mensal, em que é possível observar as diferenças de médias de velocidade e as direções predominantes do vento ao longo dos meses, através das rosas dos ventos. A predominância da direção do vento nos anos analisados foi de leste para oeste. Os valores de velocidade máxima do vento e porcentagem de calmaria foram identificados, demonstrando que o mês de junho se apresenta como o com maior possibilidade de acúmulo de poluentes, enquanto o mês de outubro o mais favorável para a dispersão. Os dados apresentados neste trabalho possibilitam a aplicação em diferentes modelos de dispersão de poluentes atmosféricos, um melhor entendimento da magnitude dos ventos na cidade de Ponta Grossa/PR e sua influência na qualidade de vida da população em relação à poluição do ar.

Palavras chave: Dados meteorológicos, Qualidade do ar, Vento, Ponta Grossa/PR.

Characterization of wind direction and speed at city of Ponta Grossa/PR

Abstract: Knowledge of the climatic conditions of a region, mainly wind characteristics, is directly related to air pollutants and gases dispersion in urban areas. In this context, the present work aims to present the characteristics of predominant direction and wind speed at city of Ponta Grossa, located in the Region of Campos Gerais in the state of Paraná, to be used as input parameters in the application of a study of dispersion of air pollutants. The data used in the study were provided by the Meteorological System of Paraná (SIMEPAR), showing hourly frequency to the years 2016 and 2017. The software used for data analysis was WRPLOT ViewTM version 8.0.2. The data were presented hourly along of the months, in which it is possible to observe the differences of speed means and the predominant wind directions over the months, through the wind roses. The predominance of wind direction in the analyzed years was from east to west. The values of maximum wind speed and percentage of lull were identified, showing June as the month with the greatest possibility of pollutants accumulation, and October the most favorable month for dispersion. The data presented in this work make it possible the application in different dispersion models of atmospheric pollutants, a better understanding of the wind magnitude in Ponta Grossa city and influence on population life quality in relation to air pollution.

Key-words: Weather data, Air quality, Wind, Ponta Grossa/PR.

1. Introdução

O aumento da frota de veículos vem acompanhado do acréscimo da emissão de poluentes na atmosfera, e como consequência, há um aumento de doenças alérgicas, respiratórias, e até cardiovasculares (BOURDREL *et al.*, 2017).

Atualmente, existem várias ferramentas para o estudo da dispersão de poluentes atmosféricos como modelos matemáticos (abordagens *Eulerianas* e *Lagrangeanas*), *softwares* de simulação e a fluidodinâmica computacional (*Computational Fluid Dynamics* – CFD) (TOMINAGA & STATHOPOULOS, 2016).

O conhecimento dos mecanismos que regem a dispersão dos poluentes e dos principais parâmetros influenciadores como, condições climáticas, direção e velocidade do vento, é fundamental para a aplicação de qualquer ferramenta ou estudo de dados provenientes de estações de monitoramento da qualidade do ar. A direção e a velocidade do vento tem total influência na dispersão dos poluentes, uma vez que boas condições de dispersão (ventos fortes perpendiculares ao eixo das construções) caracterizam o espalhamento, evitando assim, o acúmulo de poluentes atmosféricos nas proximidades das fontes (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2014).

Segundo Kosmann *et al.* (1988), as características relacionadas ao vento influenciam diretamente no conforto dos pedestres, uma vez que afetam as sensações de calor e transporte de poluentes, podendo gerar regiões com altas concentrações bloqueadas pelos obstáculos presentes no ambiente urbano, como construções, muros e prédios.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as condições do vento na cidade de Ponta Grossa/PR, considerando valores mensurados a 10 m do nível do solo e realizando a conversão para uma realidade a 2 m do nível do solo. Além de dados de velocidade, as direções predominantes, rosa dos ventos e perfil logarítmico da velocidade foram apresentados. Os resultados deste trabalho se apresentam como parâmetros de entrada para análises de dispersão de poluentes atmosféricos e referências para a correta localização de estações de monitoramento de qualidade do ar.

2. Características da cidade de Ponta Grossa/PR

O município de Ponta Grossa está situado na mesorregião centro-oriental do estado do Paraná no Brasil, seu centro urbano está situado a 118 km da capital do estado, Curitiba, Figura 1, e possui uma população de aproximadamente 340 mil habitantes (IBGE, 2018).

De acordo com os dados do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 1998), conforme a classificação climática de *Köpen*, a cidade de Ponta Grossa/PR possui clima *CFB*, ou seja, temperado com temperatura média no mês mais frio, abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos de temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida.

No escoamento de vento sobre o estado do Paraná, prevalecem os efeitos ditados pela dinâmica entre o anticiclone subtropical do Atlântico, os intermitentes deslocamentos de massas polares e a depressão barométrica do nordeste da Argentina (AMARANTE, 2001).

A contribuição dos automóveis para o acúmulo de poluentes em Ponta Grossa/PR é bastante significativa, uma vez que a cidade ocupa o lugar de quinta cidade com maior frota de veículos no estado do Paraná, com cerca de 120.000 automóveis, 1.200 ônibus e 11.600 caminhões (IBGE, 2016).

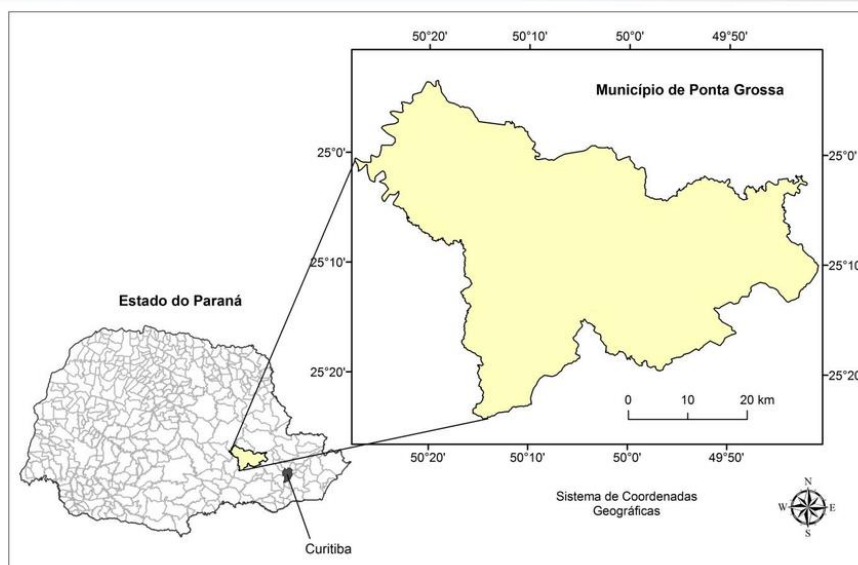


Figura 1 – Localização da cidade de Ponta Grossa no Paraná e no Brasil

Fonte: Adaptado de Nascimento & Matias (2011)

3. Metodologia

Para a caracterização do vento, os dados horários de direção e velocidade foram coletados pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) durante o período de janeiro de 2016 até dezembro de 2017, através da sua estação de monitoramento, localizada na cidade de Ponta Grossa/PR. As medições foram realizadas de acordo com o padrão da Organização Mundial de Meteorologia (OMM), a uma distância de 10 metros do nível do solo.

Para a conversão dos dados de velocidade média do vento para uma altura de 2 metros acima do solo, foi utilizada uma relação desenvolvida a partir de dados empíricos e aproximações, conhecida como perfil de velocidade polinomial, ou *power law*, representada na Equação (1), conforme Seinfeld & Pandis (2016).

$$u_x(z) = u_x(z_r) \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (1)$$

sendo que, $u_x(z)$ é o valor da velocidade do vento em uma altura z , $u_x(z_r)$ é a velocidade na altura de referência z_r (para este trabalho foi utilizado o valor de 10 metros). O expoente α , é determinado pelas condições atmosféricas e pela rugosidade específica do terreno, podendo ser menor ou igual à unidade.

A variação do valor de α se dá de forma crescente, com o aumento da rugosidade do terreno e da estabilidade atmosférica. Em condições próximas a de atmosfera neutra, os valores de α são de aproximadamente 0,15 para zonas de rugosidade extremamente baixa (oceanos e campos abertos) e 0,40 para zonas urbanas desenvolvidas (ARYA, 1999). Neste contexto, uma vez que a região em avaliação é uma cidade desenvolvida, o valor do coeficiente α escolhido para a criação do perfil de velocidade foi de 0,40.

Para caracterizar a direção predominante do vento, o software *WRPLOT View*TM (*Wind Rose Plots for Meteorological Data*), versão 8.0.2, *Lakes Environment*TM Software foi utilizado. Este programa computacional permite a criação de rosas dos ventos, análises de frequências e criação de gráficos a partir de dados meteorológicos (LAKES ENVIRONMENT, 2018).

Dados de velocidades médias horárias nos meses dos anos 2016 e 2017, velocidades horárias máximas e mínimas, bem como o perfil de velocidade na cidade de Ponta Grossa/PR são apresentados neste trabalho.

4. Resultados & Discussão

4.1 Velocidades

A avaliação dos valores máximos horários de velocidade foi realizada visando a identificação dos extremos sentidos nos diferentes meses do ano, conforme apresentado na Tabela 1. Além disso, foi utilizada a escala de *Beaufort* para classificar a força do vento. A escala de *Beaufort*, criada por Sir Francis Beaufort (1774-1857), apresenta os efeitos visíveis sobre a superfície da Terra em relação à força do vento, variando de calmaria à furacão e classificada pelos números de *Beaufort* variando de 0 a 12 (SANTANA, 2014).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	9,33	7,93	9,08	9,35	11,60	10,23	9,75	9,88	10,90	9,95	10,45	11,88
2017	8,38	7,70	8,35	11,33	10,63	11,23	9,03	12,85	9,68	12,00	11,75	9,70

Tabela 1 – Velocidades do vento horárias máximas [m/s]

Como pode ser observado, as velocidades máximas em ambos os anos, não ultrapassaram os 13 m/s, valor descrito na escala de *Beaufort* com o número 6 ou vento forte. Os efeitos percebidos com velocidades consideradas de vento forte, possibilitam a movimentação de ramos grandes, vibração de fios elétricos e dificuldades de utilizar guarda-chuva aberto. Velocidades elevadas favorecem a dispersão de poluentes e evitam o acúmulo de elevadas concentrações em determinados pontos, como regiões com muitos obstáculos.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014), calmaria são condições atmosféricas destituídas de vento ou de qualquer outro movimento do ar, que em valores numéricos são ventos com velocidade abaixo de 0,5 m/s. As porcentagens de calmaria anuais identificadas foram de 3,77% em 2016 e 3,47% em 2017, e os dados mensais são apresentados na Tabela 2.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	0,54	2,16	3,09	5,00	2,42	9,86	5,51	6,05	5,69	1,08	0,97	2,98
2017	3,23	2,38	1,34	1,11	3,63	9,72	3,78	5,78	3,33	0,94	4,58	1,88

Tabela 2 – Porcentagem de calmaria [%]

Quanto maior a porcentagem de calmaria no mês, a possibilidade de acúmulo de poluentes em determinadas regiões é maior, uma vez que elevadas porcentagens de calmaria são resultados de velocidades do vento muito baixas que permitem apenas a elevação vertical de fumaças, conforme Escala de *Beaufort*.

A Tabela 3 apresenta os valores das médias calculadas convertidas para altura de 2 m com dados de medições horárias, para os meses dos anos analisados. Em termos de sazonalidade, os ventos mais intensos são percebidos no segundo semestre do ano, mais especificamente em outubro, no caso dos anos analisados. Esta realidade pode ser sentida em todas as regiões do estado do Paraná (AMARANTE, 2007).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	1,59	1,24	1,48	1,22	1,42	1,05	1,38	1,34	1,56	1,82	1,63	1,31
2017	1,22	1,15	1,43	1,59	1,55	1,50	1,50	1,59	1,52	1,77	1,74	1,41

Tabela 3 – Médias horárias de velocidade [m/s] convertidas para altura de 2m

Um panorama geral dos dados mensurados pela estação de monitoramento é apresentado na Figura 2 através da média horária dos dados a 10 metros do nível do solo de velocidade do vento em 2016 e 2017.

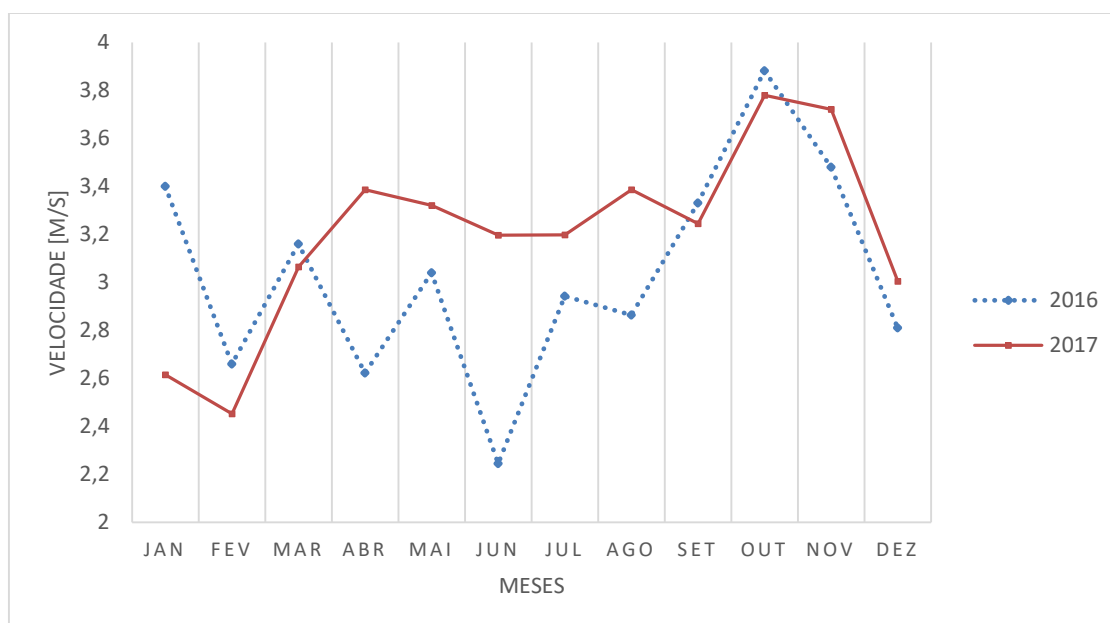


Figura 2 – Média de velocidade horária do vento em 2016 e 2017 (Padrão OMM: 10m)

As velocidades horárias médias do vento foram de 2,99 m/s e 3,22 m/s nos anos de 2016 e 2017, respectivamente. Considerando a conversão para 2 metros de altura, as velocidades médias foram de 1,40 m/s em 2016 e 1,51 m/s em 2017.

4.2 Perfil do vento na cidade de Ponta Grossa/PR

Um dado importante e muito utilizado em aplicações de ferramentas CFD na simulação de dispersão de poluentes é o perfil do vento. Suas características são fortemente influenciadas pela magnitude do vento, condição atmosférica e natureza da superfície como mares, zonas rurais ou cidades (KOSSMANN *et al.*,1998).

Considerando condições de atmosfera neutra, que possibilitam a dispersão de poluentes, altura de camada limite planetária de 250 metros, rugosidade equivalente à de uma região urbana e aplicando a lei de potência (*power law*), foi possível obter o perfil de velocidade representado na Figura 3.

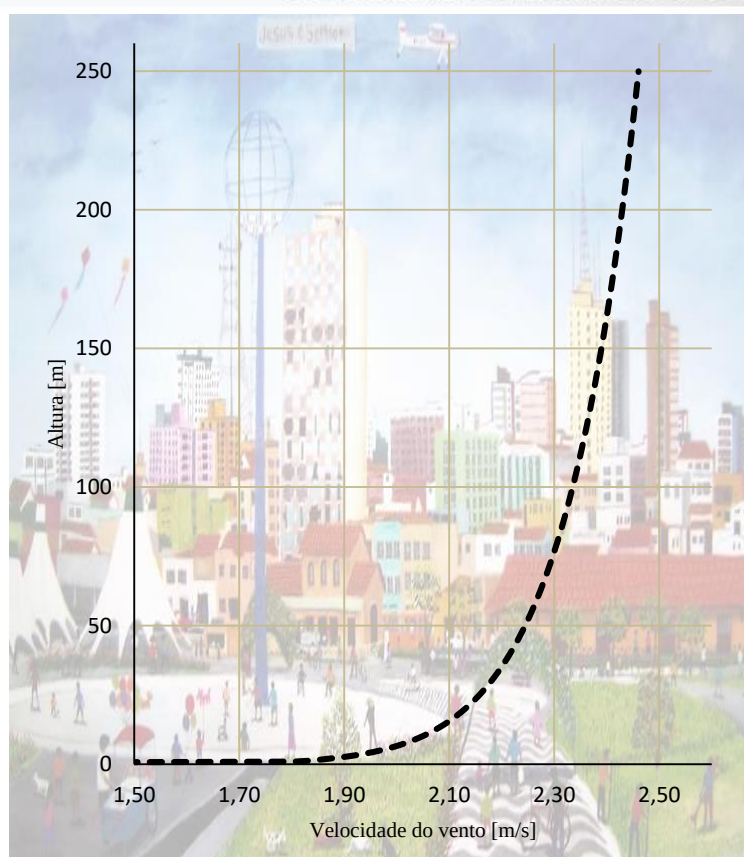


Figura 3 – Perfil de velocidade *power law* do vento na cidade de Ponta Grossa/PR

Como mencionado anteriormente, o expoente utilizado para a criação do perfil de velocidade foi de 0,40, resultando assim em uma curva característica de regiões urbanizadas, com superfície contendo construções elevadas e concentração de residências. É possível observar a diminuição da velocidade com o a diminuição da altura em relação ao solo pelo fato da presença de obstáculos.

4.3 Direção predominante do vento

O conhecimento da direção predominante do vento é um dos parâmetros chave na dispersão de poluentes, pois indica a direção preferencial em que os poluentes atmosféricos estão sendo dispersos.

Como mencionado anteriormente, a criação das rosas dos ventos foi realizada através *software WRPLOT View™*, versão 8.0.2, *Lakes Environment™ Software* e está representada pela Figura 4. As direções indicadas demonstram de onde o vento sopra, ou seja, predominantemente de leste para oeste. As cores representam as diferentes velocidades, enquanto o tamanho das fatias está relacionado à porcentagem de eventos registrados durante o ano com a velocidade indicada pela cor. É possível observar que, em ambos os anos estudados, 2016 e 2017, os eventos de velocidade ocorreram em sua maioria na faixa entre os valores de 3,6 m/s e de 5,7 m/s.

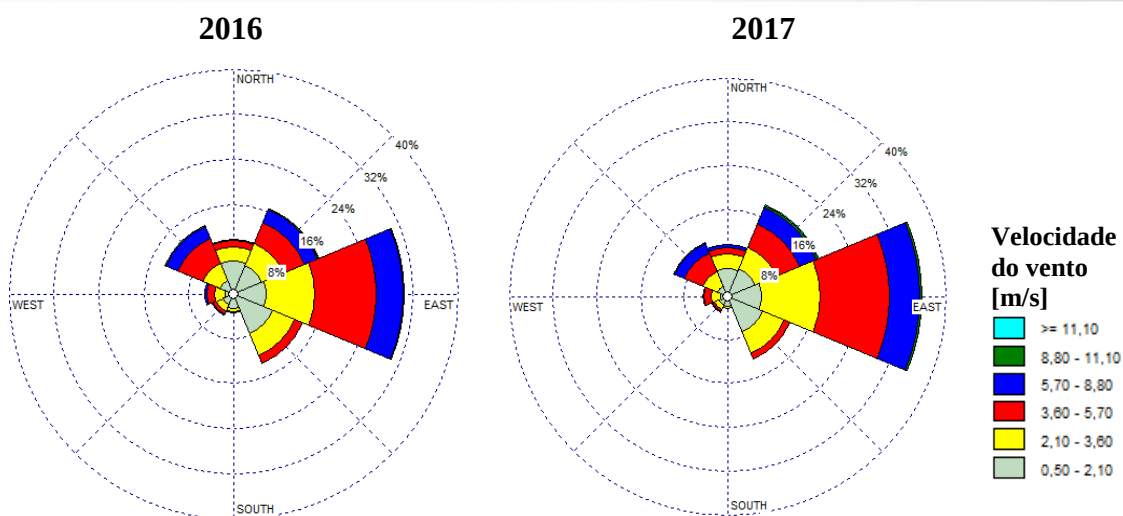
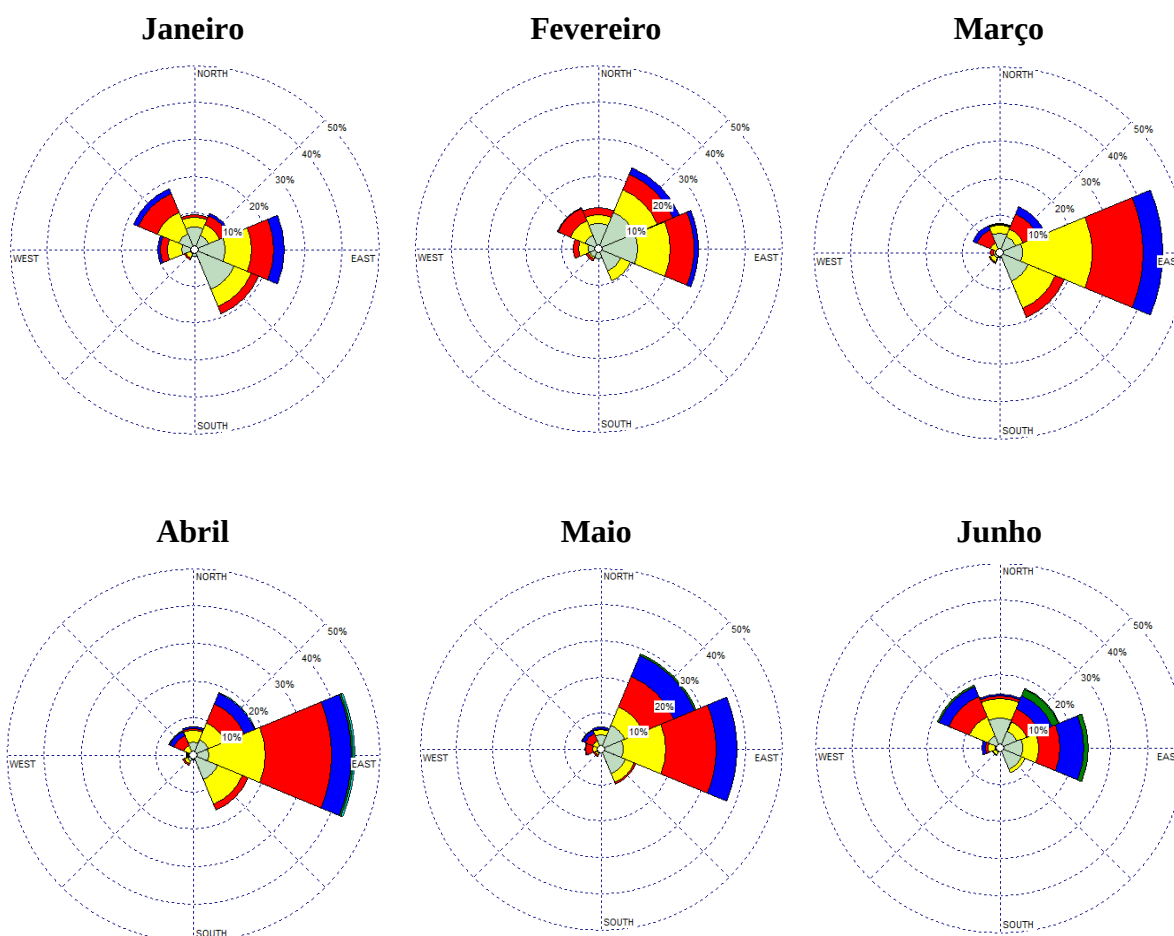


Figura 4 – Rosa dos ventos de Ponta Grossa/PR, anos 2016 e 2017

Uma análise mais detalhada pode ser observada na Figura 5, onde as rosas dos ventos foram criadas individualmente para os meses do ano de 2017.



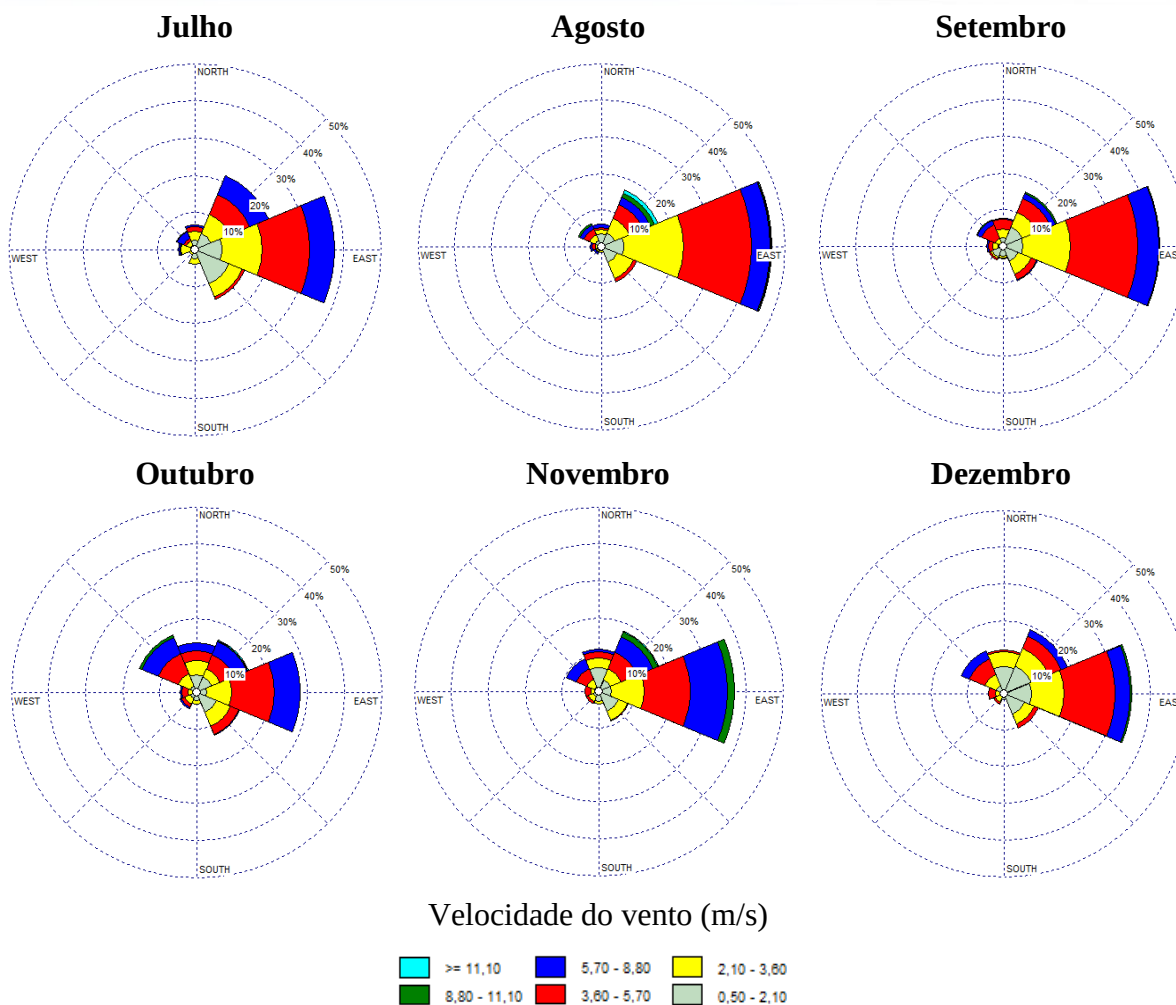


Figura 5 – Rosa dos ventos Ponta Grossa/PR, meses de 2017

As rosas dos ventos indicam a direção dos ventos e, como consequência, para onde os poluentes atmosféricos estão sendo dissipados. A medição dos poluentes atmosféricos na cidade de Ponta Grossa/PR é realizada na região central, por meio de uma estação de monitoramento localizada no Complexo Ambiental Governador *Manoel Ribas*, de responsabilidade do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) (GRAUER *et al.*, 2013). Nas redondezas da região, há um grande tráfego de carros, um *shopping center* e um terminal de ônibus municipais. Para avaliar a influência dos poluentes atmosféricos nesta região, a rosa dos ventos foi plotada sobre o mapa da região em torno da estação de monitoramento, como apresentado na Figura 6, em que a direção predominante do vento é de leste para oeste. De acordo com esta rosa dos ventos, os poluentes provenientes do terminal de ônibus municipais não se dispersam predominantemente em direção à estação de monitoramento da qualidade do ar. Portanto, a estação de monitoramento consegue captar a poluição atmosférica de toda a região em torno, sendo então, representativa da poluição geral da cidade de Ponta Grossa/PR.

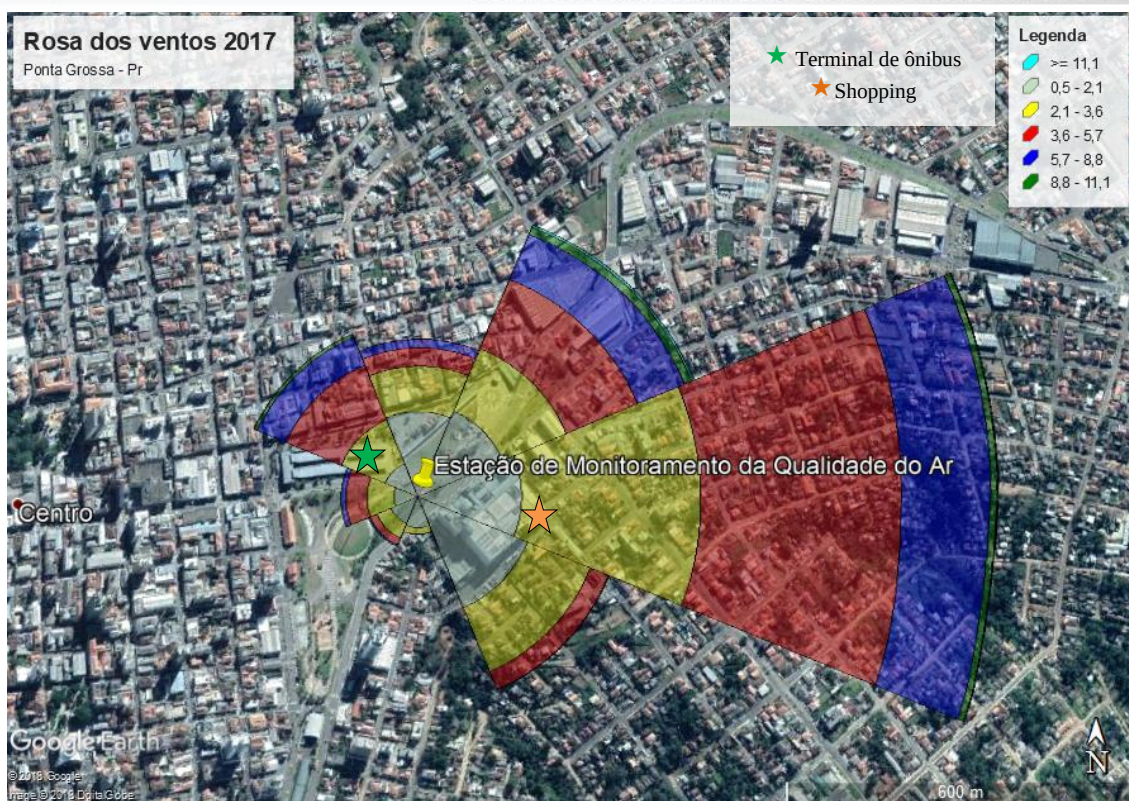


Figura 6 – Rosa dos ventos na região em torno da estação de monitoramento da qualidade do ar

5. CONCLUSÃO

Os dados obtidos com a realização deste trabalho possibilitaram a caracterização do vento na região de Ponta Grossa/PR. A aplicação do perfil de velocidade, as velocidades médias e direções predominantes do vento podem ser executadas, visando garantir maior representatividade das condições reais na aplicação de modelos de simulação numérica de dispersão de poluentes atmosféricos.

As velocidades máximas obtidas em ambos os anos estudados foram percebidas no segundo semestre, suas magnitudes apresentam efeitos significativos na dispersão de poluentes atmosféricos, resultando assim, em uma menor tendência ao acúmulo de poluentes nestes meses do ano.

Ao observar os valores de velocidades médias horárias convertidas para uma altura de 2 m do nível do solo, em ambos os anos se percebe que as maiores médias foram registradas no mês de outubro. Ao se comparar estes valores com as porcentagens de calmaria, tem-se 1,08% e 0,94% registradas para o mês de outubro nos anos de 2016 e 2017, respectivamente, confirmando que nestes meses tem-se maior tendência de dispersão de poluentes atmosféricos, uma vez que se caracteriza por elevadas velocidades e pouca porcentagem de calmaria.

As porcentagens de calmaria indicam a quantidade de eventos com velocidade do vento insignificante para promover a movimentação dos poluentes, causando assim, o acúmulo e, conseqüentemente, danos à qualidade de vida da população em contato com a poluição atmosférica. O mês com maior porcentagem de calmaria em ambos os anos estudados foi junho, mês que apresenta temperaturas baixas devido ao inverno, condições desfavoráveis à dispersão de poluentes atmosféricos.

As rosas dos ventos apresentadas seguem uma tendência de vento soprando de leste para oeste, em ambos os anos e ao se avaliar separadamente os meses do ano de 2017, esta tendência foi confirmada.

A localização da estação de monitoramento da qualidade do ar pode ser avaliada a partir da direção predominante do vento aplicada à região. Como a estação deve representar a realidade da cidade de Ponta Grossa/PR como um todo e não localmente, sua localização levando em consideração a direção dos ventos está correta. A região vizinha apresenta um terminal de ônibus municipais, que contribui muito para a geração de poluentes atmosféricos, localizado na região oposta à direção predominante do vento e da estação de monitoramento, fato que impede a superestimação de dados de poluentes atmosféricos na região.

Agradecimentos

Os autores externam agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia Mecânica, ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/Câmpus Ponta Grossa) e ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) pelo fornecimento dos dados utilizados neste estudo. Agradecimentos também são prestados à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão de bolsa de mestrado à acadêmica Vivian Machado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro no desenvolvimento deste projeto de desenvolvimento tecnológico e de inovação.

Referências

- AMARANTE, O.A.C.; BROWER, M.; ZACK, J.**, *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. MME/ELETRORÁS/CEPEL. 2001
- AMARANTE, O. A. C.; SCHULTZ, D. J.** *Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná*. COPEL, Camargo Schubert Engenharia Eólica, LACTEC, p. 53, 2007.
- ARYA, S. PAL.** *Air Pollution Meteorology and Dispersion*. New York: Oxford University Press, 1999.
- BOURDREL, T.; BIND, M. A.; BÉJOC, Y.; MOREL, O.; ARGACHA, J. F.** *Cardiovascular effects of air pollution*. Archives of Cardiovascular Diseases, 2017.
- GRAUER, A.; MALHEIROS, A. L.; NOCKO, H. R.; PAIM, J. B.; SOUZA B.** *Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas de Poluentes (Mp, Co, Nox, Sox) e Proposta para Revisão e Ampliação da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar do Estado do Paraná: Relatório Final*. Curitiba, 2013.
- IAPAR (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ)**, *Cartas Climáticas do Paraná*, 1998. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=597>. Acesso em 03 de junho de 2018.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA)**, *Brasil em Síntese*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/ponta-grossa/panorama>. Acesso em 07 de junho de 2018.
- IEMA (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE)**, *1º Diagnóstico de Rede de Monitoramento da qualidade do ar no Brasil*. 2014. Disponível em: http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/Rosana/Diagnostico_Qualidade_do_Ar_Versao_Final_Std.pdf. Acesso em 03 de junho de 2018.
- INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA)**, *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. 2014. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 07 de junho de 2018.
- LAKES ENVIRONMENT**, *Wind Rose Plots for Meteorological Data*. 2018. Disponível em: <https://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html>. Acesso em 07 de junho de 2018.
- KOSSMANN, M.; VOGTLIN, R.; CORSMEIER, U.; VOGEL, B.; FIEDLER, F.; BINDER, H.J.; OKE, T. R.** *Street design and urban canopy layer climate*. Energy Build, [S.l], v. 11, p. 103-113, 1988.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

NASCIMENTO, E.; MATIAS, L. F. Expansão urbana e desigualdade socioespacial: uma análise da cidade de Ponta Grossa (PR). *Ra'eGa, O Espaço Geográfico em Análise*, v. 23, p.65-97, 2011.

SANTANA, L. V. R. *Análise do comportamento da velocidade do vento na região Nordeste do Brasil utilizando dados da ERA-40*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife/PE, 2014

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. *Atmospheric Chemistry and Physics: from Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, 2016.

TOMINAGA, Y.; STATHOPOULOS, T. *Ten questions concerning modeling of near-field pollutant dispersion in the built environment*. *Building and Environment*, v. 105, p. 390-402, 2016.