



TÍTULO: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA COMO INSTRUMENTO PARA A GESTÃO DA QUALIDADE DO AR

José Leandro Melgar Nêris – e-mail: leandro_melgar@hotmail.com
Instituição de Ensino: Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre.
Endereço: Rua Marechal José Inácio da Silva, nº 355, Bairro Passo d'Areia.
CEP: 90520-280 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul.

Pedro Nardi Dambroz – e-mail: pedro_nd@hotmail.com
Instituição de Ensino: Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre.

Walter Teles Wayerbacher – e-mail: wtw1705@gmail.com
Instituição de Ensino: Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre.

Claudinéia Brazil Saldanha – e-mail: neiabrazil@yahoo.com.br
Instituição de Ensino: Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre.

Luciane Teresa Salvi – e-mail: salvi.faculdade@dombosco.net
Instituição de Ensino: Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre.

Resumo: *Os problemas relacionados à poluição atmosférica não são recentes. Após a Revolução Industrial, os estudos referentes aos impactos da poluição do ar sobre a saúde pública tornaram-se cada vez mais importantes nas grandes cidades. Os efeitos da dispersão de poluentes podem ser percebidos em níveis regionais e globais, afetando diversos ecossistemas. A dispersão depende diretamente das condições meteorológicas, da fonte poluidora (chaminé) e da topografia local. O objetivo deste estudo foi avaliar o padrão de comportamento do vento e da estabilidade atmosférica para o município de Porto Alegre – RS, com o intuito de auxiliar nos estudos relacionados à degradação da qualidade do ar. Foram analisados para o município de Porto Alegre, os parâmetros meteorológicos (radiação solar, direção e velocidade do vento), para o período de 2001 a 2014. Para a caracterização da estabilidade atmosférica foi utilizada a tabela proposta por Pasquill (1961) que divide as condições de estabilidade em seis classes. A partir da análise dos dados, constatou-se que os períodos de outono e inverno apresentaram uma maior ocorrência de estabilidade atmosférica e os de primavera e verão foram os mais favoráveis para a dispersão de poluentes.*

Palavras-chave: *Vento; Poluição do ar; Dispersão de Poluentes.*



TITLE: ATMOSPHERIC STABILITY ASSESSMENT AS A TOOL FOR AIR QUALITY MANAGEMENT

Abstract: *The problems related to air pollution are not recent. After the Industrial Revolution, the studies related to the threats of the air pollution into our public health has become significantly important in the big cities. The effects of pollutant dispersion are reflected in regional and global levels, affecting different ecosystems. The dispersion dependent directly on weather conditions, pollution source (chimney) and from the topographical location. The aim of this study was to evaluate the wind pattern behavior and atmospheric stability for the city of Porto Alegre - RS, in order to assist studies related to the degradation of air quality. Were analyzed for the city of Porto Alegre, the meteorological parameters (solar radiation, wind direction and speed) into the period of 2001 to 2014. To characterize the atmospheric stability we used the table proposed by Pasquill (1961) dividing the stability conditions into six classes. Between the data analyzed, periods of autumn and winter had the higher occurrence of atmospheric stability and the periods of spring and summer are the most favorable for the dispersion of pollutants.*

Keywords: *Wind; Air pollution; Pollutant dispersion.*

1. INTRODUÇÃO

A meteorologia pode ser entendida como a ciência que estuda os fenômenos atmosféricos que ocorrem na natureza. Ela relaciona-se com os aspectos físicos, dinâmicos e químicos da atmosfera e também com as interações com a superfície adjacente (SOARES & BATISTA, 2004). Tais fenômenos exercem um papel importante em relação à poluição do ar, sendo, portanto, fundamental seu estudo.

De acordo com Derisio (2012), as condições meteorológicas possibilitam estabelecer uma forma de ligação entre a fonte de poluição e o receptor, tendo como referências o transporte e a dispersão dos poluentes. As condições meteorológicas influenciam decisivamente na qualidade do ar, uma vez que as condições da atmosfera irão interferir na maneira como os poluentes se dispersam, impactando suas concentrações no ambiente.

Os efeitos causados pela poluição do ar podem ocorrer em níveis local, regional e global, provocando desequilíbrios de diversas magnitudes sobre os ecossistemas (DAMILANO, 2006). Embora a poluição do ar não seja um fenômeno recente (podendo ter causas inclusive naturais – como aquelas provocadas pela emissão de gases e partículas sólidas oriundas de erupções vulcânicas), seus efeitos passaram a ser sentidos de forma acentuada em decorrência do evento da Revolução Industrial, principalmente a partir da utilização em larga escala do carvão mineral como fonte de geração de energia. Atualmente, sabe-se que a poluição do ar possui uma estreita relação com fatores de origem antrópica, uma vez que está diretamente relacionada aos processos de industrialização, urbanização não planejada e má utilização dos recursos naturais disponíveis para manutenção das premissas básicas de sobrevivência da humanidade (NÓBREGA, 2013), representando uma ameaça grave à saúde pública (BRANCO & MURGEL, 2004). Dentre as doenças recorrentes causadas por este tipo de poluição encontram-se aquelas crônicas do sistema respiratório, como bronquite, enfisema pulmonar e asma brônquica.

A dispersão de um poluente na atmosfera depende de vários fatores como as condições meteorológicas, parâmetros como velocidade e temperatura dos gases e as condições em que é produzida a emissão na fonte de exaustão (aspectos construtivos presentes na edificação como altura e diâmetro da chaminé, por exemplo). Os elementos da atmosfera também são variáveis, sendo



especialmente relevantes aqueles que dizem respeito às mudanças da temperatura e às características da topografia do local, uma vez que a velocidade e a direção do vento usualmente se alteram em decorrência da altitude verificada na área em questão.

A transferência de poluentes atmosféricos e as suas reações químicas que ocorrem nesta camada são consequências dos processos da difusão atmosférica. O vento é o primeiro mecanismo atmosférico de transporte dos poluentes e a turbulência exerce um papel importante na difusão e, conseqüentemente, na diluição da poluição no ar. Esse parâmetro é determinado pela velocidade do vento e pelo gradiente de temperatura (DERISIO, 2012; PHILIPPI JUNIOR; ROMÉRO; BRUNA, 2014).

A classificação da estabilidade atmosférica é necessária para quantificar a capacidade de dispersão da atmosfera ambiente, sendo importante na caracterização das estimativas da dispersão local a curto e longo prazos. Dentre os vários tipos de classificação empregados existem aqueles que são baseadas na disponibilidade de parâmetros e variáveis meteorológicas e na avaliação de processos atmosféricos que ocorrem na baixa atmosfera, em particular na Camada Limite Atmosférica. A classificação de Pasquill é uma das mais utilizadas e caracteriza as propriedades dispersivas da atmosfera (OLIVEIRA JÚNIOR; PIMENTEL; LANDAU, 2010).

Pesquisas abordando essa temática são de suma importância para uma boa gestão da qualidade do ar, que busca definir metas para as ações de prevenção e redução das emissões de poluentes, minimizando assim os possíveis impactos negativos da poluição sobre a saúde das populações que residem em cidades. Baseado no exposto, o objetivo deste estudo é o de avaliar o padrão de comportamento do vento e da estabilidade atmosférica para o município de Porto Alegre – RS, com o intuito de auxiliar nos estudos relacionados à degradação da qualidade do ar no município contribuindo dessa forma para ações de gestão sobre a saúde pública.

2. MATERIAL E MÉTODO

Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul, localiza-se sob a latitude de 30°01'59''S e a longitude de 51°13'48''W e na altitude de 4 m s.n.m. em seu marco rodoviário zero, junto à Praça Montevideu, no centro da cidade (MENEGAT *et al.*, 1998). Os 83 bairros do município distribuem-se em dez macrozonas, as quais abrigam uma população estimada em 1,476 milhão de habitantes, sendo a 10ª cidade mais populosa do Brasil (IBGE, 2015). A capital situa-se na fronteira leste do Estado sobre uma península, junto à desembocadura do Lago Guaíba na Lagoa dos Patos, que constitui a maior lagoa de água doce do mundo.

2.1. Variáveis Meteorológicas

As informações utilizadas neste estudo foram dados horários obtidos pela estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET do município de Porto Alegre, no período compreendido entre os anos de 2001-2014. As variáveis e os parâmetros utilizados foram radiação solar, direção e velocidade do vento.

Para a caracterização da estabilidade atmosférica foi utilizada a tabela proposta por Pasquill (1961) a qual divide as condições de estabilidade em seis classes: **Classe A** – extremamente instável; **Classe B** – instável; **Classe C** – ligeiramente instável; **Classe D** – neutra; **Classe E** – ligeiramente estável e **Classe F** – estável. A Tabela 1 mostra de forma simplificada a classe de estabilidade em função da velocidade do vento, insolação e condições do céu, de acordo com Pasquill.

Tabela 1. Classes de Estabilidade proposta por Pasquill – Gifford (P-G)

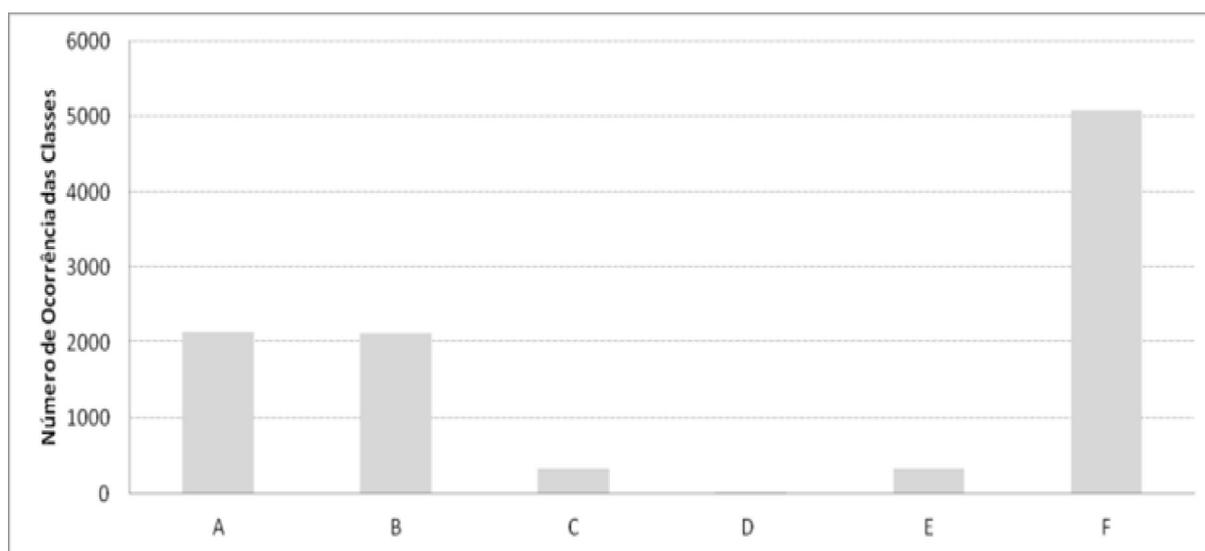
Velocidade do vento (m/s)	Período diurno Radiação solar			Período noturno Nebulosidade	
	Forte	Moderada	Fraca	Nublado (<4/8)	Pouco nublado (>4/8)
< 2	A	A - B	B		
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Durante o período analisado (Figura 1), a classe de estabilidade de Pasquill-Gifford (P-G) predominante foi a Estável (Classe F), o que indicou a ocorrência na região de estudo de condicionamento de estabilidade atmosférica. Esta condição ocorreu em noites claras e ventos fracos, tendo sido, dessa forma, desfavorável à dispersão de poluentes.

As outras categorias que predominaram no período de estudo foram A e B. A categoria A ocorre quando a radiação solar é mais forte em razão da reduzida nebulosidade, causando uma maior turbulência térmica. A categoria B ocorre em função da menor incidência de radiação solar, devido a maior quantidade de nuvens presentes no céu. As duas classes de estabilidade condicionam uma atmosfera instável, favorecendo, dessa forma, a dispersão de poluentes atmosféricos.

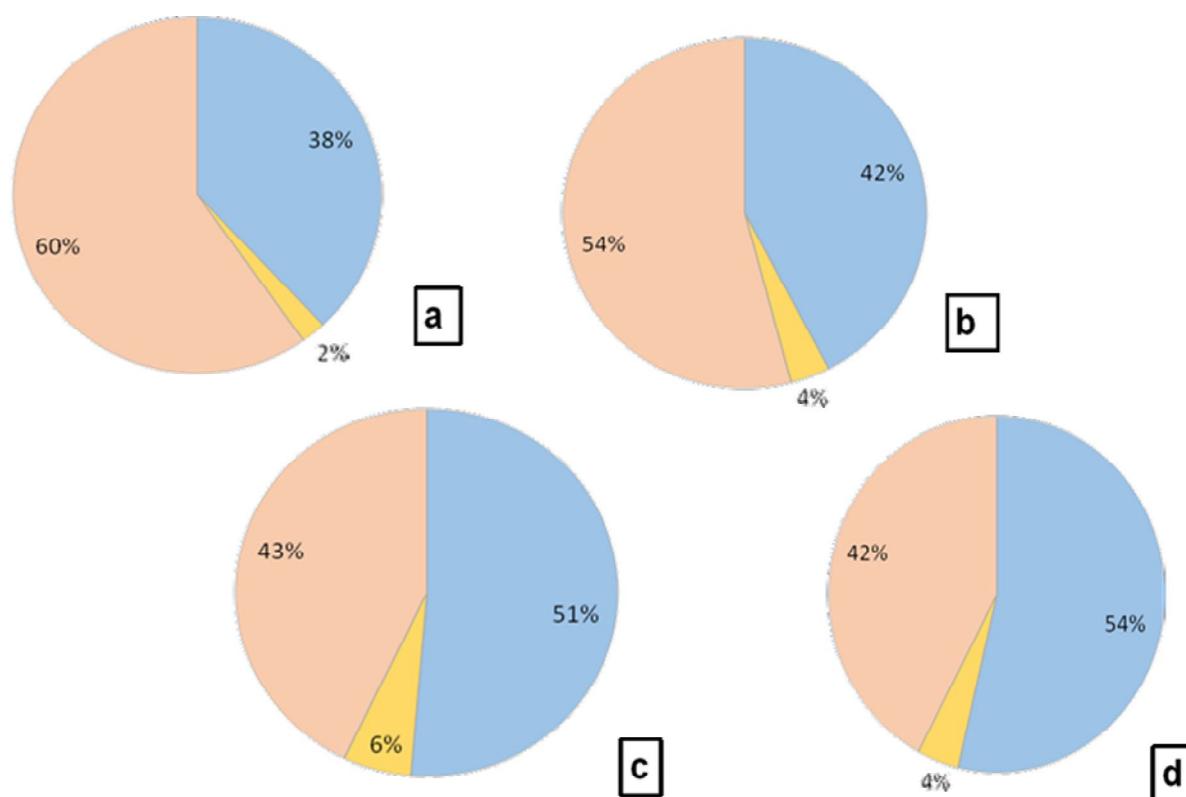
Figura 1. Classes de Estabilidade de P-G (2001-2014): A- Extremamente instável; B- Instável; C – Ligeiramente instável; D – Neutra; E – Ligeiramente estável e F – Estável.



A avaliação sazonal dos dados identificou que, para o município de Porto Alegre, os períodos de outono e inverno (Figuras 2b e 2a) são os que apresentam uma maior ocorrência da

estabilidade atmosférica, com porcentagens em torno de 54% e 60%, respectivamente. Os períodos de primavera (Figura 2c) e verão (Figura 2d) indicaram uma maior ocorrência de instabilidade atmosférica, sendo que para Porto Alegre essas são as estações mais favoráveis à dispersão de poluentes. Estes resultados concordam com aqueles obtidos por Oliveira Júnior, Pimentel e Landau (2010) na cidade de Angra Reis no estado do Rio de Janeiro. Estes autores verificaram que, para a cidade em questão, a condição instável sobressaiu-se no verão e na primavera, enquanto que nas estações de outono e inverno, a estável teve a maior frequência de ocorrência.

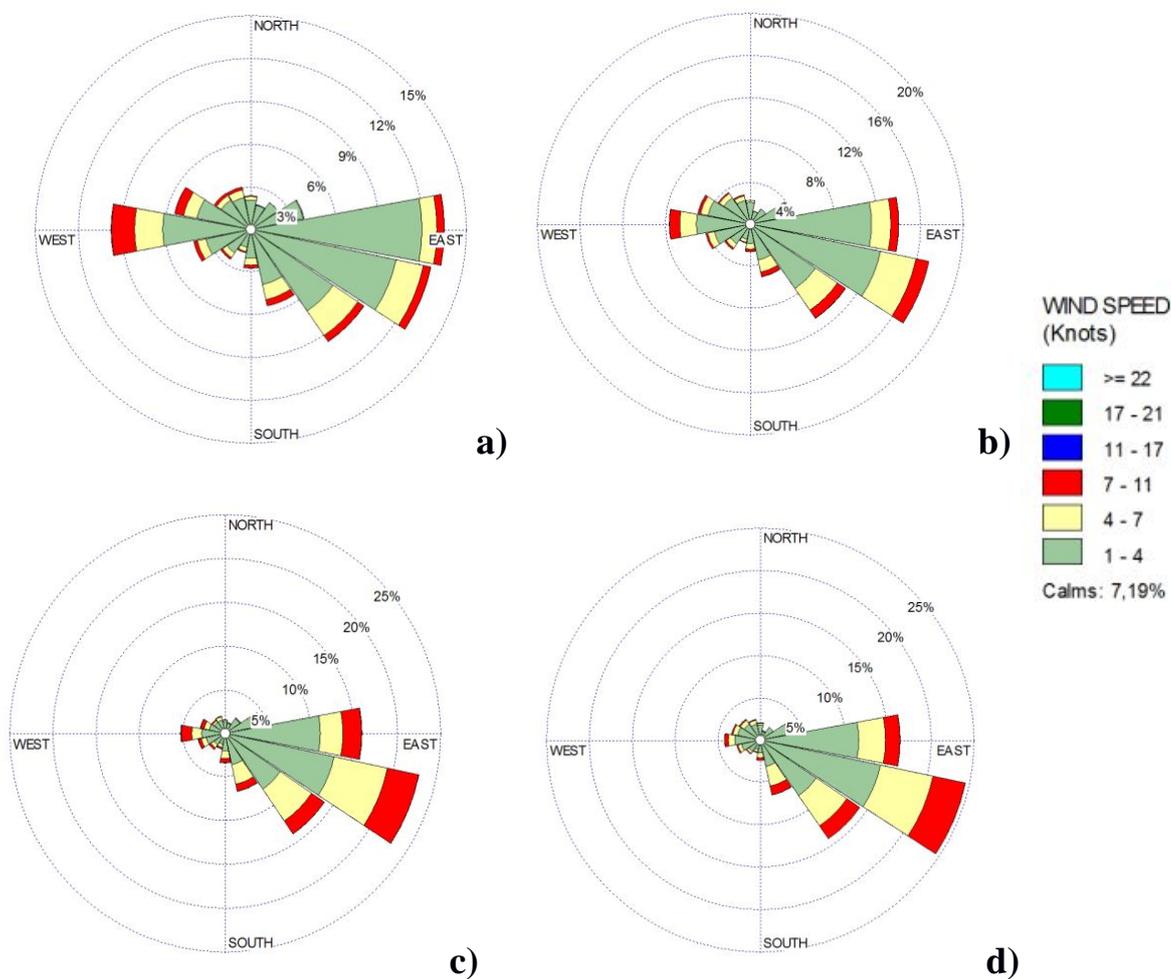
Figura 2. Classes de Estabilidade atmosférica para o município de Porto Alegre –
a) Inverno, b) Outono, c) Primavera, d) Verão.



Após a avaliação da estabilidade atmosférica para o município de Porto Alegre, verificou-se a influência da direção e velocidade do vento.

Na análise sazonal, observaram-se duas direções principais durante os meses de primavera (Figura 3c), verão (Figura 3d) e outono (Figura 3b): leste-sudeste. Nos meses de inverno (Figura 8) a frequência dos ventos ficou mais distribuída apresentando componentes significativas também na direção de oeste. Observa-se também que em todas as estações a velocidade do vento predominante é entre 1 a 4 nós, sendo desfavorável à dispersão de poluentes.

Figura 3. Rosa dos ventos para o município de Porto Alegre:
a) Inverno, b) Outono, c) Primavera, d) Verão.



A Tabela 2 apresenta para todo o período estudado a frequência de ocorrência das velocidades dos ventos para cada uma das direções. A análise realizada demonstrou que as direções de leste-sudeste ($105^\circ - 135^\circ$) e leste-nordeste ($75^\circ - 105^\circ$) predominaram ao longo do período analisado (2001-2014), com intensidade do vento até 4 nós. A presença dos centros de alta pressão do Atlântico contribui no fato de gerar direções predominantes de leste e nordeste. Tendo em vista que os ventos fluem para fora do centro dos sistemas de alta pressão, parcelas de ar de subsidência dessas áreas compensam o transporte horizontal de massas de ar.



Tabela 2 – Frequência de ocorrência do vento direção e velocidade (nós).

Direção/velocidade do vento	1-4	4-7	7-11	11-17	17-21	>= 22	Total
1 345 - 15	1562	185	35	0	0	4	1786
2 15 - 45	1330	38	14	0	0	0	1382
3 45 - 75	2598	42	9	1	0	0	2650
4 75 - 105	9354	1808	1101	10	0	0	12273
5 105 - 135	10141	3882	1781	7	0	0	15811
6 135 - 165	3872	1841	700	12	1	0	6426
7 165 - 195	1698	593	295	11	1	0	2598
8 195 - 225	1260	312	106	4	0	0	1682
9 225 - 255	2208	401	150	6	0	0	2765
10 255 - 285	3507	1103	808	28	0	0	5446
11 285 - 315	2526	473	206	10	0	0	3215
12 315 - 345	1869	421	126	4	0	0	2420
Total	41925	11099	5331	93	2	4	58454
Calmaria							7078

Segundo Pasquill (1961), para determinar a estabilidade atmosférica e verificar se a atmosfera está favorável ou desfavorável à dispersão de poluentes é necessário dividir a velocidade do vento em cinco classes e, posteriormente, cruzar com os dados de radiação. A Tabela 3 apresenta a quantidade de medições em cada categoria conforme a metodologia proposta por Pasquill. Observa-se que para todas as estações do ano a maior quantidade de valores registrados foi para a classe de vento menor do que 2 m/s, inclusive no período de inverno que é o mais crítico no caso de episódios de poluição, devido à ocorrência de inversões térmicas próximas à superfície terrestre, fazendo com que os poluentes fiquem confinados nessa região.

Tabela 3 – Quantidade de medições em cada categoria por Pasquill.

m/s	Primavera	Outono	Inverno	Verão
<2	1223	1716	2190	1142
2-3	666	591	497	696
3-5	378	250	188	357
5-6	30	9	4	24
>6	3	2	0	3

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições meteorológicas possibilitam estabelecer uma forma de ligação entre a fonte de poluição e o receptor, tendo como referência o transporte e a dispersão dos poluentes.

A distribuição dos ventos numa determinada área depende da intensidade, variação normal e trajetória das variações de pressão de grande escala que ocorre no planeta (fenômenos macrometeorológicos). Os ventos sofrem variações temporal e espacial em função dos movimentos



dos sistemas de pressão, aquecimento diurno e resfriamento da superfície da Terra. Portanto, este parâmetro é fundamental para determinar a turbulência e o deslocamento da pluma de poluentes que incide sobre um determinado local.

A partir dos resultados obtidos por essa pesquisa, inferiu-se que, para o município de Porto Alegre, as estações outono e inverno são as mais desfavoráveis à dispersão de poluentes. Nesse período, a velocidade do vento apresentou pouca intensidade, dificultando a dispersão dos agentes poluidores. A direção predominante dos ventos verificada é de leste, sudeste e alguma componente de nordeste, principalmente devido à presença dos sistemas de altas pressões atmosféricas localizadas no oceano Atlântico.

Este cenário deve ser tratado com especial atenção uma vez que, de acordo com Philippi Júnior, Roméro e Bruna (2014), nas regiões onde zonas de alta pressão ocorrem com muita frequência podem ser registrados problemas sérios de poluição do ar, principalmente se o relevo também for desfavorável, ou seja, se houver “paredões” que dificultam a movimentação do ar em direção ao interior.

Cabe salientar que, apesar destes resultados apontarem para uma particularidade do município de Porto Alegre, situações análogas podem ser verificadas em várias outras cidades. Assim, estes resultados devem servir como subsídios aos gestores públicos municipais, planejadores urbanos e munícipes não apenas da capital gaúcha, mas também de outros municípios onde realidade semelhante for evidenciada, uma vez que são recorrentes na literatura os estudos que discutem as relações entre os fatores de poluição e as condições de saúde de populações urbanas.

REFERÊNCIAS

BRANCO, S. M.; MURGEL, E. **Poluição do ar**. 2 ed. Moderna. 2004. 112 p.

DAMILANO, D. C. R. **Estudo da influência da poluição atmosférica e das condições meteorológicas na saúde em São José dos Campos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2006. 44 p.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. atual. São Paulo: Oficina de Textos. 2012. 224 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Porto Alegre**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: out. 2015.

MENEGAT, R.; MOHR, F. V.; CARRARO, C. C.; FLÔRES, R. Porto Alegre em dados. In: MENEGAT, R. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. p. 203.

NÓBREGA, L. A. **Modelagem da influência de poluentes atmosféricos veiculares e fatores meteorológicos em afecções respiratórias**. 2013. 119 p.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; PIMENTEL, L. C. G.; LANDAU, L. Critérios de estabilidade atmosférica para a região da central nuclear Almirante Álvaro Alberto, Angra dos Reis – RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 2010. 270 – 285p.

PASQUILL, F. The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. **Meteorological Magazine**. v.90. 1961. p. 33-49.



PHILIPPI JUNIOR, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. (Orgs.). **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2014. 1045 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Meteorologia e Climatologia Florestal**. Curitiba: Editor, 2004. 195 p.

TOMASINI, J. **Padrão de variabilidade do vento à superfície, em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: Implicações Ambientais**. Univates, Lajeado. 58 p.

REALIZAÇÃO



CORREALIZAÇÃO



INFORMAÇÕES

abes-rs@abes-rs.org.br
51 3212.1375