

Artigo Técnico

Avaliação da influência das condições meteorológicas em dias com altas concentrações de material particulado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Evaluation of weather conditions in days with high particulate matter concentrations in the Metropolitan Area of Rio de Janeiro

Tailine Corrêa Santos¹, Vanessa Silveira Barreto Carvalho², Michelle Simões Reboita²

RESUMO

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, altos índices de concentrações de material particulado inalável (PM_{10}) com violações dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90 são registrados rotineiramente. Analisando dados registrados entre 1998 e 2008, foram identificados 146 dias com concentrações acima dos valores estabelecidos. Nesses dias, foi possível verificar a influência da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, a ausência de precipitação e a ocorrência de inversões térmicas na baixa troposfera, o que confirma a forte relação entre a ocorrência de altas concentrações de PM_{10} e as condições atmosféricas na região.

Palavras-chave: material particulado; qualidade do ar.

ABSTRACT

In the Metropolitan Area of Rio de Janeiro, high levels of particulate matter concentrations (PM_{10}) with violations of the limits established by CONAMA Resolution 03/90 are routinely recorded. Analyzing data recorded between 1998 and 2008, 146 days with concentrations above these values were identified. In those days, it was possible to verify the influence of South Atlantic Subtropical Anticyclone, the lack of precipitation and temperature inversions in the lower troposphere, which confirm the strong relationship between high PM_{10} concentration and the atmospheric conditions in region.

Keywords: particulate matter; air quality.

INTRODUÇÃO

A atmosfera é composta por diversos gases e partículas que podem sofrer variação em termos de concentração. A presença de substâncias que não fazem parte da constituição natural da atmosfera caracteriza um problema de poluição do ar. As fontes dessas substâncias podem ser tanto antropogênicas, como as provenientes de emissões industriais e veiculares, quanto também fontes naturais, como as decorrentes de erupções vulcânicas (BOUBEL *et al.*, 1994).

Em termos legais, a fim de garantir a saúde e o bem-estar da população, há uma concentração limite máxima para cada poluente que não deve ser superada. Essa concentração é definida pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2000) como “o nível de um poluente atmosférico,

como a concentração ou índice de deposição, que é adotado pelas autoridades regulatórias como leis”. Os padrões de qualidade do ar no Brasil foram estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90 (BRASIL, 1990).

Entre os poluentes legislados no Brasil, encontra-se o material particulado com diâmetro inferior a 10 μm (PM_{10}). O material particulado resulta não só de emissões diretas de partículas, mas também de emissões de determinados gases que condensam ou de partículas diretas que sofrem transformação química (SEINFELD & PANDIS, 2006).

Desde o fim da década de 1960, quando se iniciou o monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), foi possível observar a ocorrência de altas concentrações de material particulado, no caso, de Partículas Totais em Suspensão (PTS). A RMRJ abrange

¹Mestrando em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) - Itajubá (MG), Brasil.

²Doutora em Meteorologia pela Universidade de São Paulo (USP). Professor adjunto do Instituto de Recursos Naturais, UNIFEI - Itajubá (MG), Brasil.

Endereço para correspondência: Tailine Corrêa Santos - Avenida. BPS, 1303 - Pinheirinho - 37500-903 - Itajuba (MG), Brasil - E-mail: tai_unifei@yahoo.com.br

Recebido: 15/08/14 - **Aceito:** 12/08/15 - **Reg. ABES:** 139269

os municípios Rio de Janeiro, Mesquita, Nilópolis, São João de Meriti, Belford Roxo, Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Japeri, Magé, Itaboraí, Tanguá, Queimados, Seropédica, Itaguaí, São Gonçalo, Maricá, Guapimirim, Seropédica e Niterói (SEA/INEA, 2010); conta com mais de 11 milhões de habitantes (IBGE, 2010) e é onde circulam mais de 3 milhões de veículos (INCIT, 2013). A RMRJ tem a segunda maior concentração de população, de veículos, de indústrias e de fontes emissoras de poluentes do país, fatores que tendem a gerar problemas locais de poluição do ar (SEA/INEA, 2013).

A partir de 1998, com a implantação da rede manual de monitoramento de PM_{10} , são registrados rotineiramente na RMRJ altos índices de concentração dessas partículas, que ultrapassam os limites propostos pela Resolução CONAMA nº 03/90 (WALDHEIM *et al.*, 2006; CORREA *et al.*, 2011).

De acordo com Braga *et al.* (2002), o PM_{10} apresenta uma característica importante que é a de transportar gases adsorvidos em sua superfície até as porções mais distais das vias aéreas, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão. Convém ressaltar que diversos estudos epidemiológicos no Brasil comprovaram que as altas concentrações de material particulado provocam efeitos prejudiciais na saúde humana (PENNA & DUCHIADE, 1991; SALDIVA *et al.*, 1994; BRAGA *et al.*, 2002; GOUVEIA *et al.*, 2003).

Na RMRJ estima-se que, em geral, 77% das emissões atmosféricas são oriundas de fontes veiculares, segundo inventário realizado em 2004. Os 23% restantes provêm de fontes fixas, dentre as quais se destacam setores como o petroquímico, o naval, o químico, o alimentício e o de transformação de energia (SEA/INEA, 2013).

As características locais, como topografia, existência ou não de edifícios, o tipo de solo e a espécie de vegetação, possuem capacidade de alterar o comportamento de alguns parâmetros meteorológicos dentro de uma determinada região, tornando-a mais ou menos favorável à dispersão dos poluentes. Na RMRJ, as altas taxas de emissão de poluentes atmosféricos estão aliadas à topografia acidentada, à ocupação do solo, à presença de corpos hídricos e à capacidade de dispersão atmosférica, atuando como complicadores no que se refere aos problemas associados à qualidade do ar (CARVALHO *et al.*, 2004; GUERRA *et al.*, 2011).

É importante destacar que as condições atmosféricas desempenham um papel fundamental para a determinação da qualidade do ar, principalmente, por meio da influência de parâmetros como a velocidade e a direção dos ventos, a precipitação, a temperatura, a instabilidade do ar, entre outros (CARVALHO *et al.*, 2004; LYRA *et al.*, 2006; WALDHEIM *et al.*, 2006; GUERRA *et al.*, 2011).

Na literatura, há diversos estudos que relacionam a meteorologia com os níveis de concentrações de poluentes presentes na atmosfera. Carvalho *et al.* (2004) verificaram que maiores concentrações de ozônio são observadas, geralmente, em dias com temperaturas altas e com baixa umidade relativa do ar. Lyra *et al.* (2006) confirmaram que a elevação da temperatura, o aumento da velocidade do vento, a diminuição da classe de estabilidade e a elevação da altura da camada de mistura influenciaram a diminuição da concentração

de poluentes, tanto de SO_2 como CO, na Região Metropolitana de Salvador.

Guerra *et al.* (2011), analisando as concentrações de material particulado com diâmetro inferior a $2,5 \mu m$ ($PM_{2,5}$), concluíram que as variáveis meteorológicas que têm relacionamento direto com a concentração dos poluentes de forma geral são a velocidade do vento e a precipitação. Waldheim *et al.* (2006) também observaram que a maior parte dos episódios com altas concentrações de PM_{10} registradas na RMRJ foi influenciada por fatores meteorológicos dominantes, como a ocorrência de inversões térmicas na baixa troposfera e ausência de precipitação. O conhecimento desses fatores que mais influenciam as concentrações de poluentes pode auxiliar no estabelecimento de medidas de controle da poluição do ar.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar a relação e a influência das condições meteorológicas nas altas concentrações de PM_{10} registradas na RMRJ. Para isso, foram selecionados episódios de concentração de PM_{10} que ultrapassaram o Padrão Nacional de Qualidade do Ar (PNQA) de 24 horas em vigência no Brasil considerando os anos de 1998 a 2008.

METODOLOGIA

Dados de concentração de PM_{10} registrados em 14 estações de monitoramento alocadas na RMRJ entre 1998 e 2008 foram considerados neste estudo. A distribuição espacial desses pontos e as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos a que estas estão expostas podem ser observadas na Figura 1 e na Tabela 1. Tais dados referem-se a concentrações de 24 horas registradas pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) a cada seis dias.

A seleção dos dias a serem analisados foi feita a partir da comparação dos dados de concentração de PM_{10} com os PNQA de 24 horas, que têm como limite o valor de $150 \mu g/m^3$ (BRASIL, 1990). Também foram calculadas as médias anuais da concentração de PM_{10} para comparação com o PNQA anual de $50 \mu g/m^3$ (BRASIL, 1990) e o perfil médio mensal para verificação da estação do ano quando as maiores concentrações são normalmente registradas. Vale destacar que o perfil médio mensal também permite a associação com padrões climáticos.

A princípio, foram identificados todos os dias em que no mínimo uma estação apresentou violação ao PNQA. Para esses dias, foram verificadas as condições meteorológicas predominantes pela análise de observações meteorológicas realizadas na região e da geração de campos sinóticos médios. Para isso, dados meteorológicos dos dias selecionados foram obtidos da Reanálise II do *National Centers for Environmental Prediction/ Department of Energy* (KANAMITSU *et al.* 2002). Foram considerados dados a cada seis horas das seguintes variáveis: temperatura do ar a 2 m, pressão atmosférica ao nível do mar, direção e intensidade do vento. O objetivo dessas análises foi verificar

as condições meteorológicas de grande escala predominantes na RMRJ durante a ocorrência de altas concentrações de PM₁₀.

Após essa etapa, para uma análise meteorológica mais detalhada, foram selecionados apenas casos quando ultrapassagens ao PNQA de 24 horas foram verificados simultaneamente em 5 ou mais estações de monitoramento na RMRJ. Para cada um desses casos, uma análise individual das condições sinóticas atuantes foi realizada.

Para complementar as análises meteorológicas, também foram utilizados dados de precipitação registrados pela Fundação GeoRio em cinco estações pluviométricas localizadas nos seguintes bairros do município do Rio de Janeiro: Copacabana, Ilha do Governador, Jacarepaguá/Tanque, São Cristóvão e Tijuca. As informações referentes à ocorrência de inversões térmicas nos primeiros mil metros da atmosfera, condição desfavorável à dispersão de poluentes, foram obtidas a partir dos dados obtidos por meio das radiossondagens realizadas no Aeroporto Internacional Tom Jobim lançadas às 00 e às 12 UTC.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução das Concentrações de PM₁₀

Nos 11 anos de dados considerados, foram verificados 146 dias em que, no mínimo, 1 estação de monitoramento na RMRJ apresentou valores superiores ao PNQA de 24 horas, de 150 µg/m³. Um pouco mais da metade dos dias (53%) está concentrada nos primeiros 3 anos analisados, 1998 a 2000, decaindo ao longo dos anos (Figura 2). Essa tendência também foi verificada pelas concentrações médias anuais de PM₁₀ e é, provavelmente, decorrência de ações previstas no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos

Tabela 1 - Fontes de emissões de cada estação de acordo com sua localização.

Nº da estação	Estações	Região	Influenciada por emissões de origem
1	Bonsucesso	Zona Norte do município do Rio de Janeiro	Veicular e industrial
2	Botafogo	Zona Sul do município do Rio de Janeiro	Veicular
3	Centro	Zona Central do município do Rio de Janeiro	Veicular
4	Copacabana	Zona Sul do município do Rio de Janeiro	Veicular
5	Jacarepaguá	Zona Oeste do município do Rio de Janeiro	Veicular e industrial
6	Maracanã	Zona Norte do município do Rio de Janeiro	Veicular e industrial
7	São Cristóvão	Zona Norte do município do Rio de Janeiro	Veicular e industrial
8	Sumaré	Zona Norte do município do Rio de Janeiro	Sem a influência de emissões diretas
9	Nilópolis	Baixada Fluminense	Veicular e industrial
10	Nova Iguaçu	Baixada Fluminense	Veicular e industrial
11	Duque de Caxias	Baixada Fluminense	Veicular e industrial
12	São João de Meriti	Baixada Fluminense	Veicular e industrial
13	Niterói	Região a leste da Baía de Guanabara	Veicular
14	São Gonçalo	Região a leste da Baía de Guanabara	Veicular

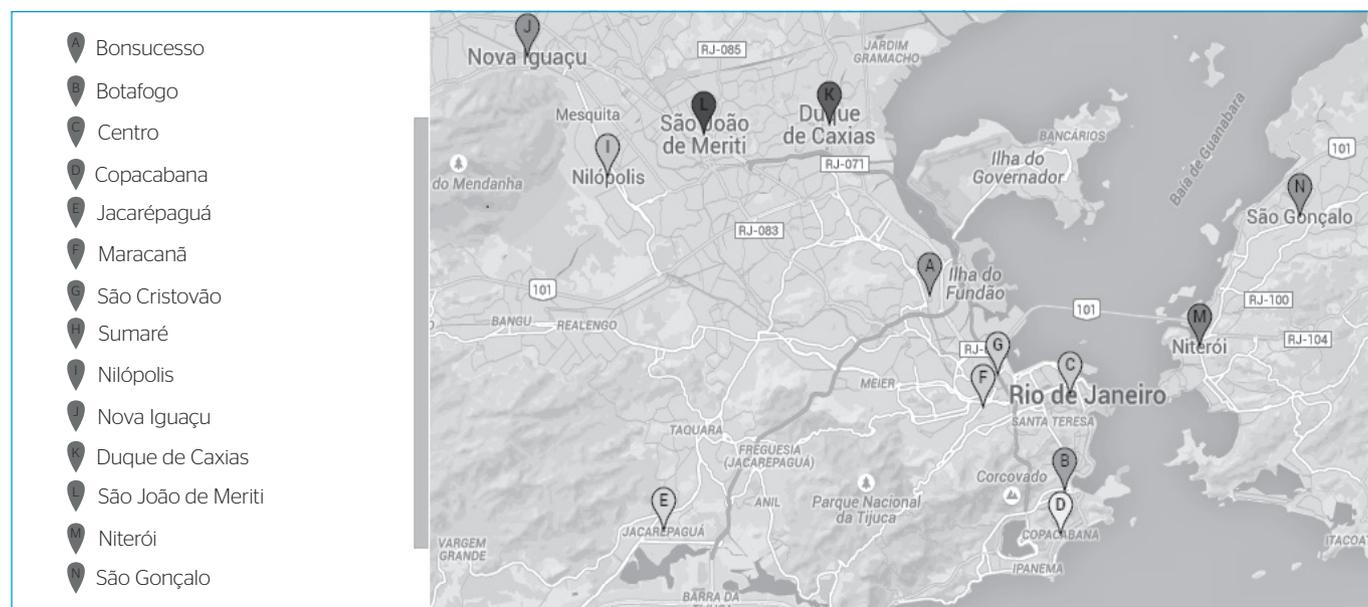


Figura 1 - Distribuição espacial das estações de monitoramento consideradas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Automotores, o PROCONVE. Desde a sua implantação, o PROCONVE foi responsável por uma queda de 90% no limite de emissões por veículos leves e de 80% por veículos pesados (SANCHEZ-CCYOLLO *et al.*, 2007). O programa também foi apontado como o principal fator para a redução das concentrações médias de diversos poluentes primários registrados na RMSP ao longo da última década por Martins *et al.* (2004). Contudo, vale destacar que, apenas nos anos de 2006 e 2008, os valores obtidos estiveram abaixo do PNQA anual de PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Isso revela o comprometimento da qualidade do ar na região.

A análise do perfil médio mensal de concentração de PM_{10} e do número de dias com violações ao PNQA de 24 horas estabelecido para o poluente em questão de acordo com o mês revela maiores valores nos meses de inverno, entre junho e agosto (Figura 3). Nesse período, a Região Sudeste (SE) do Brasil encontra-se, predominantemente, sob a influência do Anticiclone Subtropical do

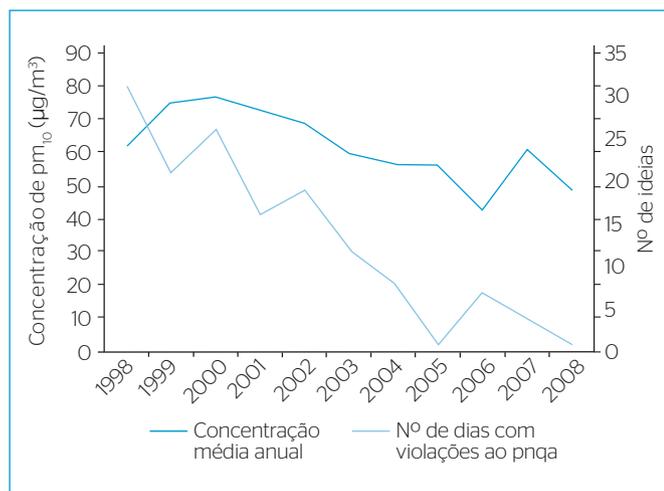


Figura 2 - Média anual de concentração e número de dias com violações ao PNQA de 24 horas de PM_{10} na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

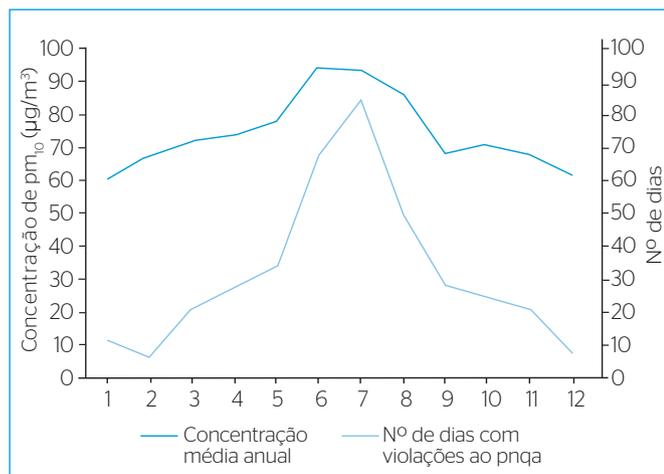


Figura 3 - Perfil médio mensal das concentrações de PM_{10} e do número de dias com violações ao PNQA de 24 horas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro no período de 1998 a 2008.

Atlântico Sul (ASAS – REBOITA *et al.*, 2010). Tal sistema propicia a ocorrência de condições de céu claro, ventos fracos e a subsidência do ar, que inibe a formação de nuvens e contribui para a formação de inversões térmicas na atmosfera. Tais condições são desfavoráveis à dispersão de poluentes, o que justifica os resultados encontrados.

Condições Meteorológicas em Dias com Violações ao PNQA

Analisando os dados da reanálise para os 146 dias entre 1998 e 2008, quando foram registradas ultrapassagens ao PNQA de 24 horas para PM_{10} na RMRJ, foi possível verificar em 87% destes a influência do ASAS atuando sobre a região. Vale ressaltar que 60% desses dias ocorreram entre os meses maio e setembro, quando o ASAS se encontra mais próximo do continente influenciando a Região SE do Brasil. Esse período também foi identificado pela CETESB (2013) como o mais desfavorável para a dispersão de poluentes no Estado de São Paulo. Conforme dito anteriormente, o ASAS é um sistema caracterizado por ventos fracos, subsidência do ar e condições de céu claro, todas desfavoráveis à dispersão de poluentes. Mesmo fora do período de maior influência do ASAS, a partir dos dados do NCEP/DOE, também foi possível observar a influência de um sistema de alta pressão, mesmo que com menor intensidade. Apenas em 18 dos 146 dias, não houve a influência do ASAS. Desses 18, 13 foram registrados fora do período de maior influência do ASAS. De acordo com o boletim da climanálise (CPTEC, 2013), dos 18 dias sem influência do ASAS, 14 são dias pré-frontais e 3 são pós-frontais, ou seja, dia anterior a entrada de frente e posterior, respectivamente. Saldanha e Alves (2005) também verificaram a ocorrência de picos de concentrações de poluentes em condições pré-frontais por conta dos altos valores de pressão atmosférica e da baixa velocidade do vento. Quanto ao período pós-frontal, com a predominância do anticiclone transiente, esperam-se também condições atmosféricas similares à da atuação do ASAS, favorecendo, portanto, os níveis de concentração de poluentes.

Também foi constatada, em aproximadamente 95% dos dias analisados, a ausência de precipitação. Em 67% dos casos não foi registrada ocorrência de precipitação em 3 ou mais dias antes do dia em questão, o que desfavoreceu a remoção de poluentes por via úmida. Em apenas 7 dias, ou seja, 5% dos casos, foi verificada a ocorrência de precipitado no dia em que foi registrada a violação ao PNQA.

Os dados obtidos por meio de radiossondagens revelaram que apenas 18 dias não apresentaram inversão térmica abaixo de 1000 m, sendo importante destacar que, em aproximadamente 62% dos dias analisados, foi registrada a ocorrência de inversão térmica abaixo de 300 m, o que desfavorece ainda mais a dispersão dos poluentes.

A influência e a atuação do ASAS em grande parte dos dias estudados é visível no campo médio gerado a partir da média de

todos os campos de pressão atmosférica dos dias estudados, assim como também o predomínio de ventos fracos (Figura 4).

Para uma análise mais detalhada a respeito da influência das condições meteorológicas na qualidade do ar, foram selecionados 11 dias quando valores superiores ao PNQA de 24 horas, de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foram verificados em 5 ou mais estações de monitoramento simultaneamente na RMRJ. A ocorrência de altas concentrações em múltiplas estações de monitoramento indica a influência de condições de meso e grande escala. O fato de uma única estação registrar violação ao PNQA pode ser decorrente de fatores meteorológicos de pequena escala ou também de

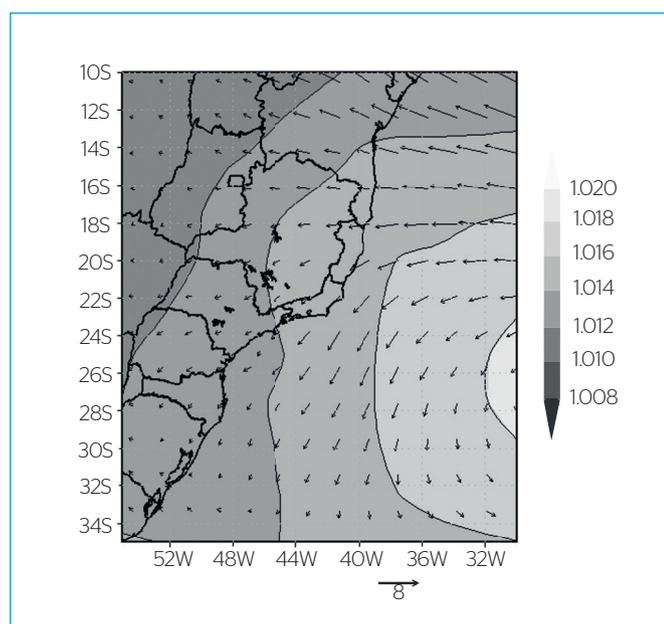


Figura 4 - Composição média dos campos de pressão atmosférica ao nível do ar e do campo de vento a 10 m para os dias quando foram registradas violações ao PNQA de 24 horas estabelecidos para o PM_{10} .

alterações no perfil de emissão das fontes de poluentes atmosféricos locais, como a ocorrência de um incêndio ou até mesmo de um engarrafamento nas vias de tráfego próximas à estação.

Na Tabela 2, podem ser observadas as condições meteorológicas predominantes durante cada um dos 11 casos analisados. A maior parte desses dias, oito no total, ocorreu durante os anos de 1998 e 1999. Vale destacar que todos os dias selecionados ocorreram sempre entre os meses maio e setembro, quando o ASAS se encontra mais próximo do continente influenciando a Região SE do Brasil. A atuação do ASAS foi verificada por meio dos dados da reanálise em todos os dias considerados. Também foram constatados durante esses dias valores de temperatura amena (em torno de 25°C) e a ausência de precipitação. Na maioria dos casos também não foi registrada ocorrência de precipitação em pelo menos quatro dias antes do dia em questão, impedindo a remoção dos PM_{10} por via úmida. Os dados obtidos por meio de radiossondagens revelaram, para a maior parte dos dias, a ocorrência de inversão térmica abaixo de 300 m. É importante ressaltar que o perfil vertical de temperatura desempenha um papel fundamental na dispersão de poluentes. A ocorrência de uma inversão térmica determina o volume de ar disponível para a dispersão dos poluentes na atmosfera, aprisionando os poluentes abaixo da altura desta camada (SEINFELD & PANDIS, 2006).

Dentre os casos selecionados, pode ser destacado o dia 27 de julho de 2006, quando cinco entre sete estações com dados disponíveis apresentaram violações ao PNQA de 24 horas. Durante esse dia, foi possível constatar uma forte camada de inversão, com um aumento da temperatura variando de 4° a 7° na baixa troposfera, abaixo dos 300 metros conforme pode ser observado na Figura 5. Também é possível observar a influência do ASAS e a ocorrência de ventos fracos associados (Figura 6). Vale ressaltar que não houve registro de precipitação na RMRJ por 24 dias antes do dia em questão.

Tabela 2 - Condições meteorológicas predominantes nos 11 dias quando 5 ou mais estações de monitoramento apresentaram violações ao PNQA de 24 horas.

Dias	Dados disponíveis	Estações com violações	Inversão < 300 m	Temperatura	Pressão	Período anterior de estiagem
22/05/1998	11	5		dia < 24°C /noite (14°)	Influência do ASAS	4
09/06/19A98	11	5	X	< 23°C	Influência do ASAS	4
21/07/1998	12	5	X	< 24°C	Influência do ASAS	1
27/07/1998	12	5	X	dia < 24°C /noite (14°C)	Influência do ASAS	5
28/06/1999	10	5	X	< 24°C	Influência do ASAS	7
16/07/1999	10	5	X	< 28°C	Influência do ASAS	8
27/08/1999	9	5	X	dia < 22°C /noite < 10°C	Influência do ASAS	10
08/09/1999	10	8	X	< 30°C	Influência do ASAS	24
22/07/2000	10	5	X	< 24°C /noite fria (9°C)	Influência do ASAS	6
05/07/2001	12	6	X	< 24°C	Influência do ASAS	7
27/07/2006	7	5	X	< 26°C	Influência do ASAS	24

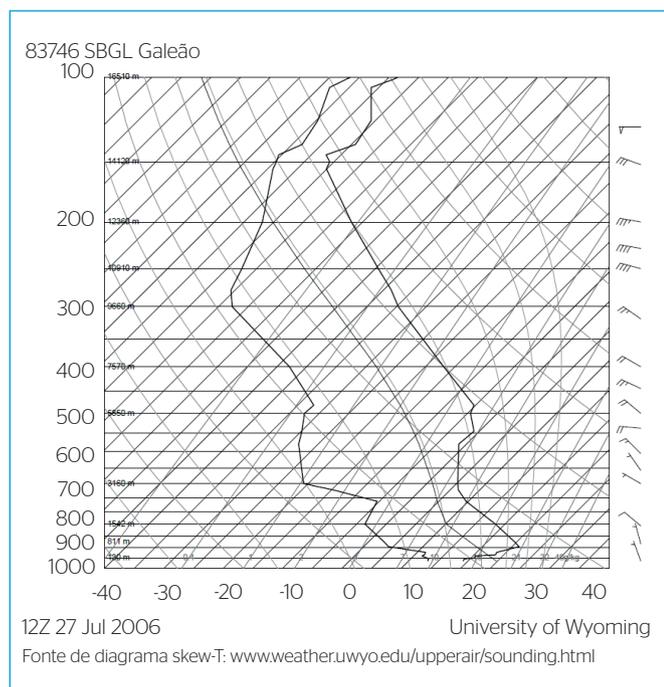


Figura 5 - Diagrama skew-T da radiossonagem das 12 UTC do dia 27 de julho de 2006 realizado no Aeroporto Internacional Tom Jobim (SBGL).

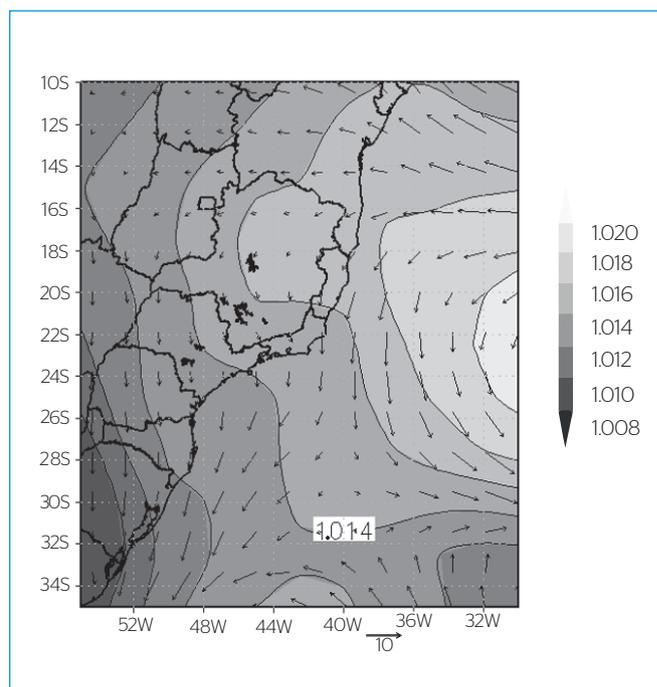


Figura 6 - Campos de pressão atmosférica ao nível do mar e vento para o dia 27 de julho de 2006.

CONCLUSÕES

A avaliação dos dados de concentração de PM_{10} registrados entre 1998 e 2008 revelou um significativo comprometimento da qualidade do ar na RMRJ, com ocorrências de violações aos PNQA de curto (limite para as concentrações de 24 horas) e de longo período (limite para a concentração média anual). Contudo, é importante destacar a tendência de diminuição no número de violações de 24 horas e das médias anuais de concentração do poluente registradas ao longo dos anos. Essa queda nas concentrações é, provavelmente, decorrência de ações previstas no PROCONVE.

Analisando as condições meteorológicas dominantes durante dias quando valores de concentração superiores ao PNQA de 24 horas foram registrados, foi possível verificar predominantemente a atuação do ASAS, a ausência de precipitação e a ocorrência de inversões térmicas na baixa troposfera. Esses resultados confirmam a forte relação entre os episódios de concentração e as condições atmosféricas na região, fornecendo subsídios para a elaboração de um plano de gerenciamento da qualidade do ar na RMRJ.

REFERÊNCIAS

ALVES, J.E.D.; CAVENAGHI, S.M.; BARROS, L.F.W. A família DINC no Brasil: algumas características sociodemográficas. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Ciências Estatísticas. IBGE, 2010 (Textos para discussão, n. 30). Disponível em: <http://www.ence.ibge.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0e7dab2c-3595-4e18-b2ec-62f342157f5a&groupId=37690208>. Acesso em: 25 nov. 2010.

BOUBEL, R.W.; FOX, D.L.; TURNER, D.B.; STERN, A.C. (1994) Fundamentals of air pollution. Third edition. Other Information: DN: From review by Viney P. Aneja, North Carolina State Univ. *American Scientist*, v.83, n 4 (Jul-Aug 1995).

BRAGA, A.; PEREIRA, L.A.A.; SALDIVA, P.H.N. (2002) Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana. In: *Sustentabilidade na Geração e Uso*

de Energia no Brasil: os próximos vinte anos, Campinas, 2002. Disponível em: www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=1039. Acesso em: 20 jun. 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília (DF), 1990.

CARVALHO, V.S.B.; MELLO, R.; CAVALCANTI, P.M.P.S.; CATALDI, M.; PIMENTEL, L.C.G. (2004) Avaliação da concentração do ozônio e de seus precursores na RMRJ e correlação deste com variáveis meteorológicas durante o ano de 2002. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. *Anais eletrônicos*.. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/22-106a74513a8169304ab1ec402bddd658.doc>>. Acesso em: 29 out. 2004.

- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Alterações físico químicas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/mortandade/causas_oxigenio.php>. Acesso em: 19 de out. 2013.
- CORRÊA, T.S.; FERREIRA, G.W.S.; CARVALHO, V.S.B. (2011) A influência das condições meteorológicas na ocorrência de altas concentrações de PM₁₀ na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *In: Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 7. Anais...* Santa Maria (RS): Universidade Federal de Santa Maria.
- GOUVEIA, N.; MENDONÇA, G.A.S.; LEÓN, A.P.; CORREIA, J.E.M.; JUNGER, W.L.; FREITAS, C.U.; DAUMAS, R.P.; MARTINS, L.C.; GIUSSEPE, L.; CONCEIÇÃO, G.M. S.; MANERICH, A.; CUNHA-CRUZ, J. (2003) Air pollution and health effects in two brazilian metropolis. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v.12, n.1, p. 29-40.
- GUERRA, F.P.; MIRANDA, R.M. (2011) Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP. *In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2. Anais.*
- INEA. Instituto Estadual do Meio Ambiente. (2010) O Estado do Ambiente. Indicadores Ambientais do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 156 p.
- INEA. Instituto Estadual do Meio Ambiente. (2013) Relatório da Qualidade do Ar do estado do Rio de Janeiro - Ano base 2010 e 2011. Rio de Janeiro. 141p.
- INCT. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia. Evolução da Frota de Automóveis e Motos no Brasil 2001-2012. (2013) Disponível em: <www.observatoriodasmetropoles.net>. Acesso em: 01 jun. 14.
- KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S-K.; HNILO, J.J.; FIORINO, M.; POTTER, G.L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). (2002) *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.83, p.1631-1643.
- LYRA, D.G.P. (2006). A influência da meteorologia na dispersão dos poluentes atmosféricos da Região Metropolitana de Salvador. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, 14. Anais...* Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-330d58ca3e4bb20c4d89fa6fb220ab31.pdf>. Acesso em: 30 out. 2006.
- MARTINS, M.H.R.B.; ANAZIA, R.; GUARDANI, M.L.G.; LACAVA, C.I.V.; ROMANO, J.; SILVA, S.R. (2004) Evolution of air quality in the São Paulo Metropolitan Area and its relation with public policies. *International Journal of Environment and Pollution*. v.22, n.4, p.430-440.
- WHO, 2000, *Air quality guidelines for Europe*, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen (http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf) accessed 14 July 2014.
- PENNA, M.L.; DUCHIADE, M.P. (1991) Air pollution and infant mortality from pneumonia in the Rio de Janeiro Metropolitan Area. *Relation Bulletin of the Pan American Health Organization*, v.25, n.1, p.47-56.
- REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista brasileira de meteorologia*, v.25, n.2, p.185-204.
- SALDANHA, C.B.; ALVES, R.C.M. (2005) Utilização de imagens de satélite e modelagem numérica para determinação de dias favoráveis a dispersão de poluentes. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12 Anais...* Goiânia, Brasil: INPE. p. 3301-3308.
- SALDIVA, P.H.N.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; PAIVA, P.S.O.; BARONE, I.A.; MARTINS, M.A.; MASSAD, E.; PEREIRA, J.C.R.; XAVIER, V.P.; SINGER, J.M.; BÖHM, G.M. (1994) Association Between Air Pollution and Mortality Due to Respiratory Diseases in Children in Sao Paulo, Brazil: A Preliminary Report. *Environmental research*, EUA, v.65, p. 218-225.
- SANCHEZ-CCOYLLO, O.R.; MARTINS, L.D.; YNOUE, R.Y.; ANDRADE, M.F. (2007) The impact on tropospheric ozone formation on the implementation of a program for mobile emissions control: a case study in São Paulo, Brazil. *Environmental Fluid Mechanics (Dordrecht)*, v.7, p. 95-119.
- SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. (2006) Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- WALDHEIM, P.V.; ARAUJO, R.M.M.; CARVALHO, V.S.B. Relação entre altas concentrações de partículas inaláveis e o condicionamento meteorológicos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro entre 2000 e 2005. (2006) *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14. Anais...* Florianópolis: A meteorologia e a Sociedade.