

X-002 – ESTUDO DO OZÔNIO NA TROPOSFERA DAS CIDADES DO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO: SOROCABA E SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Thalita Rangueri de Barros ⁽¹⁾

Aluna de graduação em Engenharia Ambiental pela UNESP-Sorocaba.

Maria Lúcia Pereira Antunes ⁽¹⁾

Física pelo Instituto de Física da USP – S.P. Mestre em Física Nuclear pelo Instituto de Física da USP/SP. Doutora em Ciências pelo Instituto de Física da USP. Professora Assistente Doutora do curso de graduação em Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UNESP de Sorocaba.

Endereço ⁽¹⁾: Av. 3 de Março, 511 – Alto da Boa Vista- Sorocaba – SP - CEP: 18087-180 – Brasil – Tel: (15) 3238-3409 – malu@sorocaba.unesp.br

RESUMO

A atmosfera terrestre é a camada que envolve o planeta e protege os seres vivos. Desde os primórdios, a humanidade tem se utilizado desse compartimento da atmosfera para eliminar fumaças e resíduos de combustão. A preocupação com a contaminação da atmosfera tem aumentado, não só porque os seres vivos dependem do ar para respirar e viver, mas também porque a poluição atmosférica pode contaminar outros compartimentos do ecossistema global, como os solos e os aquíferos. Entre os gases poluentes presentes na troposfera, um dos poluentes mais críticos é o ozônio (O_3). Na região metropolitana de São Paulo, o ozônio ultrapassa frequentemente o padrão de qualidade do ar, e é um dos poluentes mais críticos nas cidades do interior do Estado de São Paulo. Procurando contribuir com a melhoria da qualidade do ar do estado de São Paulo, a legislação estadual definiu áreas de saturação para determinados poluentes e estabeleceu certos critérios para o licenciamento de novos empreendimentos nessas áreas. Procurando contribuir com informações sobre o poluente ozônio nas áreas saturadas do Estado de São Paulo, este trabalho tem como objetivo avaliar as concentrações de ozônio (O_3) na troposfera das cidades de Sorocaba e São José dos Campos desde o ano de 2006 até 2009, identificando as possíveis fontes que contribuem para a formação do ozônio através da análise dos parâmetros: concentração de ozônio (O_3), material particulado inalável (MP10) e direção dos ventos. Foi possível identificar como principais fontes dos precursores de ozônio, nessas cidades, a combustão veicular local e as indústrias da região.

PALAVRAS-CHAVE: Ozônio, Material Particulado, Áreas Saturadas.

INTRODUÇÃO

A atmosfera terrestre é a camada que envolve o planeta e protege os seres vivos. A ela está associada a proteção à todas as formas de vida do planeta das radiações cósmicas e da radiação proveniente do sol. Ela é essencial na manutenção do balanço de calor do planeta e se constitui como componente essencial do ciclo hidrológico. Ela age como um gigantesco condensador que transporta água dos oceanos aos continentes (1). Cerca de 85% da massa de toda a atmosfera está confinada dentro da faixa de 15Km acima da superfície terrestre, camada da atmosfera denominada de troposfera. É nesta camada que vive os seres vivos e onde se processam as atividades antropogênicas (2).

Desde os primórdios, a humanidade tem se utilizado desse compartimento da atmosfera para eliminar fumaças e resíduos de combustão. Com a industrialização esse compartimento passou a ser considerado como suficientemente grande para dispersar as emissões industriais, mas com o tempo, os desastres históricos foram evidenciando e permitindo sustentar a associação entre o aumento e acúmulo das emissões na atmosfera e os danos à saúde (3).

Um evento de poluição do ar é caracterizado por qualquer condição atmosférica na qual uma ou mais substâncias químicas estejam presentes em concentrações suficientes para causar danos em seres humanos, animais, vegetais ou em materiais. Os poluentes são encontrados no ar sob a forma de gases ou material

particulado (também chamados de aerossol) e são injetados na atmosfera tanto por fontes naturais quanto por fontes antropogênicas.

A preocupação com a contaminação da atmosfera tem aumentado, não só porque os seres vivos dependem do ar para respirar e viver, mas também porque a poluição atmosférica pode contaminar outros compartimentos do ecossistema global, como os solos e os aquíferos.

Entre os gases poluentes presentes na troposfera, um dos poluentes mais críticos é o ozônio (O_3). O ozônio causa irritação passageira do sistema respiratório, produzindo tosse, irritação na garganta, nariz e olhos. A exposição repetida ao ozônio pode tornar as pessoas mais suscetíveis a infecções respiratórias e inflamações pulmonares. Além de danos à saúde humana o ozônio é prejudicial à vegetação causando danos às colheitas e à vegetação natural.

O ozônio não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, sendo formado através de reações que ocorrem na atmosfera. Essas reações ocorrem a partir de substâncias precursoras, emitidas na atmosfera, que absorvem fótons a partir da radiação solar (reações fotoquímicas). Os precursores característicos associados à formação do ozônio são óxidos de nitrogênio (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis (COV) (4).

O ozônio é um poluente típico de cidades de clima seco e ensolarado e com um tráfego substancial de veículos (5). Na região metropolitana de São Paulo, o ozônio ultrapassa frequentemente o padrão de qualidade do ar, e é um dos poluentes mais críticos nas cidades do interior do Estado de São Paulo.

Procurando contribuir com a melhoria da qualidade do ar do estado de São Paulo, a legislação estadual definiu áreas de saturação para determinados poluentes (DECRETO N. 48.523 – 02/03/2004) e estabeleceu certos critérios para o licenciamento de novos empreendimentos nessas áreas. Para que uma determinada área seja considerada saturada para um determinado poluente, a média aritmética das médias anuais dos últimos três anos para esse poluente deve ser maior que o padrão nacional de qualidade do ar estabelecido pela resolução CONAMA (Resolução nº3).

A classificação das áreas saturadas para o poluente ozônio, foi devidamente aprovada pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente – Consema (Deliberação Consema 33/2008) e é apresentada na figura 1.

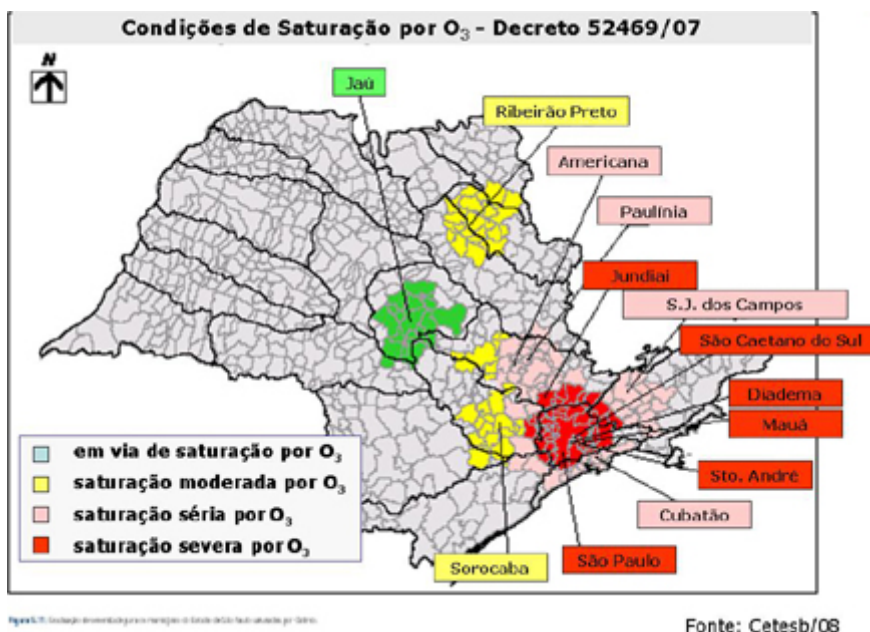


Figura 1: Condições de Saturação no Estado de São Paulo (geral) - Decreto 52.469/07.

De acordo com levantamento feito pela CETESB, existem no Estado de São Paulo 19 áreas saturadas ou em vias de saturação, sendo as principais delas localizadas em áreas de intensa industrialização, como as regiões de Cubatão, de Paulínia, de São José dos Campos, de Sorocaba e da região metropolitana de São Paulo, entre outras.

Procurando contribuir com informações sobre o poluente ozônio nas áreas saturadas do Estado de São Paulo, este trabalho tem como objetivo avaliar as concentrações de ozônio (O_3) na troposfera das cidades de Sorocaba e São José dos Campos desde o ano de 2006 até 2009, identificando as possíveis fontes que contribuem para a formação do ozônio através da análise dos parâmetros: concentração de ozônio (O_3), material particulado inalável (MP10) e direção dos ventos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas, neste trabalho, medidas da direção dos ventos, de concentração de O_3 , NO_2 e material particulado (MP10) obtidos hora a hora pelo monitoramento da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) obtidos na estação de monitoramento de Sorocaba (localizada à Rua Nhonhô Pires, 260 - Bairro Santa Terezinha) e de São José dos Campos (localizada à Rua Ana G. da Cunha, 40 - J. Jussara) durante o período de estudo.

As concentrações de ozônio foram obtidas pelo método de absorção molecular ultravioleta (6) e para a determinação da concentração de óxidos de nitrogênio utilizou-se o método de quimiluminescência (7). O MP10 foi determinado através do método de radiação beta (8).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram avaliados o número de dias em que o padrão de qualidade do ar para ozônio ($160 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{1-R}$ RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, 1990) foi ultrapassado desde o ano de 2006 a 2009. Em todo o período estudado a cidade de São José dos Campos apresentou um total de quinze dias em que os padrões de qualidade do ar para ozônio foram ultrapassados; já para Sorocaba, constatou-se um total de dezoito dias.

A média mensal das concentrações de O_3 e Material Particulado, durante todos os anos, mostram que para o ozônio a média permanece praticamente constante durante todos os meses (Figura 2). Entretanto, as maiores concentrações de material particulado nas duas cidades ocorrem no mês de julho (período de inverno). No inverno a inversão térmica dificulta a dispersão de gases e poluentes que, aliados aos grandes lançamentos dos mesmos pelos meios de transportes e fábricas, contribuem para estes altos índices nestes meses do ano. A Tabela 1 e Figura 3 mostram ainda as concentrações anuais do ozônio para as duas cidades em estudo.

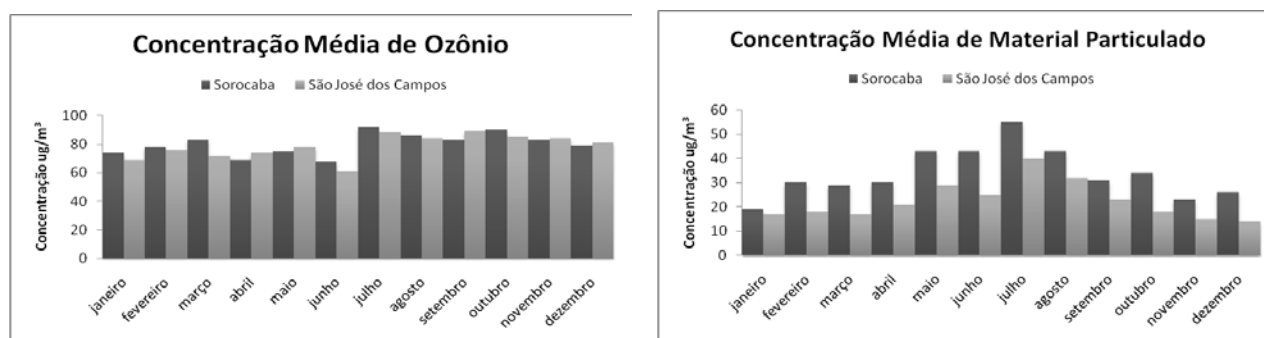


Figura 2 - Concentração média do O_3 (a) e Material Particulado (b) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em Sorocaba e São José dos Campos ao longo do ano de 2008.

A partir do gráfico referente ao Ozônio acima, pôde-se perceber que em São José dos Campos a média anual do O_3 está em torno dos $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Apesar de esta cidade apresentar o dobro de dias de ultrapassagem do ozônio em comparação com Sorocaba, sua média foi menor, já que a média de Sorocaba ficou em torno dos $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozônio. Já analisando-se o gráfico de Material Particulado, percebe-se que suas maiores concentrações nas duas cidades ocorrem no mês de julho e que ainda assim, suas maiores taxas se concentram no inverno. No inverno a inversão térmica dificulta a dispersão de gases e poluentes que, aliados aos grandes

lançamentos dos mesmos pelos meios de transportes e fábricas, contribuem para estes altos índices nestes meses do ano.

Tabela 1: Concentração Anual Média De O₃ E Desvio Padrão

	2006	2007	2008	2009
SOROCABA	92,7 ± 17	86,1 ± 16	80,3 ± 7	72,6 ± 13
SÃO JOSE DOS CAMPOS	77,5 ± 8	55,5 ± 12	78,9 ± 8	80,3 ± 14

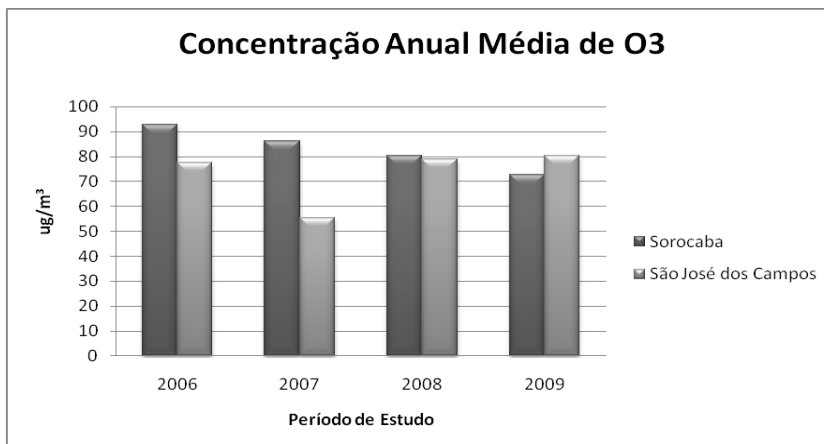


Figura 3: Concentração anual média de O₃ para Sorocaba e São José dos Campos.

Por meio da Figura 4 é possível observar o comportamento da concentração de ozônio hora a hora em um dia – escolhido aleatoriamente- em que os padrões de qualidade do ar para este poluente foi ultrapassado. Nota-se que os maiores índices de O₃ se encontram por volta das 15hs comprovando que o ozônio não é um poluente emitido diretamente pelas indústrias e carros; ele se forma a partir de compostos orgânicos e óxidos de nitrogênio que são lançados pelos mesmos, e nestes horários se concentram grande quantidade de fábricas em operação bem como alta taxa de veículos nas ruas. Porém ainda outro fator importante é o maior índice de radiação solar que se concentra nestes horários e que contribui para a formação do ozônio. Ainda comprovando o efeito decisivo da radiação sobre os níveis do poluente, percebe-se que em horários de pico de trânsito matutino e noturno, o nível de ozônio permanece baixo, só aumentando com a maior incidência de radiação solar - por volta das 10 hs da manhã.

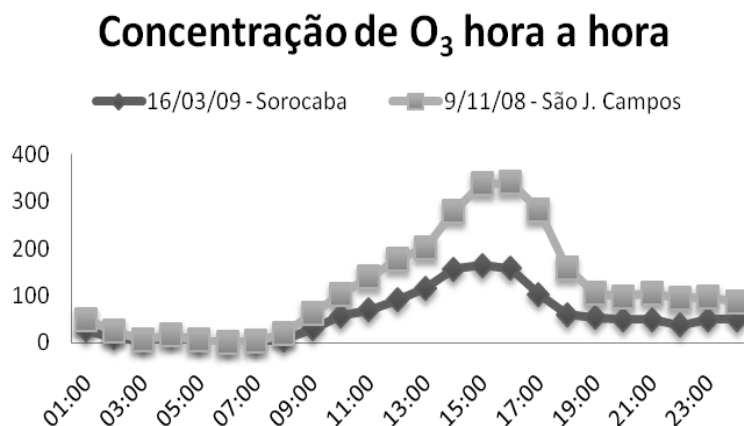


Figura 4 - Comportamento do O₃ no dia de ultrapassagem, em Sorocaba e São José dos Campos (Fonte: Cetesb)

A Figura 5 apresenta uma comparação das concentrações de ozônio e material particulado em função do tempo, ao longo de um dia de ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar em Sorocaba e em São José dos Campos. Observa-se nesta figura, que ambos os poluentes apresentam ao longo do dia picos em torno das 13hs

(horário de maior insolação) e queda em suas concentrações à noite e pela manhã; possuem ainda a mesma tendência de comportamento, o que pode indicar que o MP provém da mesma fonte poluidora que o ozônio: os veículos - já que as concentrações diminuem à medida que diminuem a circulação dos mesmos nas cidades. Outro ponto importante que podemos inferir sobre a figura é sobre a formação do O₃ a partir de compostos orgânicos e óxidos de nitrogênio lançados pelas fábricas em operação bem como alta taxa de veículos nas ruas. Porém ainda outro fator importante é o maior índice de radiação solar que se concentra nestes horários e que contribui para a formação do ozônio. Ainda comprovando o efeito decisivo da radiação sobre os níveis do poluente, percebe-se que em horários de pico de trânsito matutino e noturno, o nível de ozônio permanece baixo, só aumentando com a maior incidência de radiação solar, por volta das 10 hs da manhã.

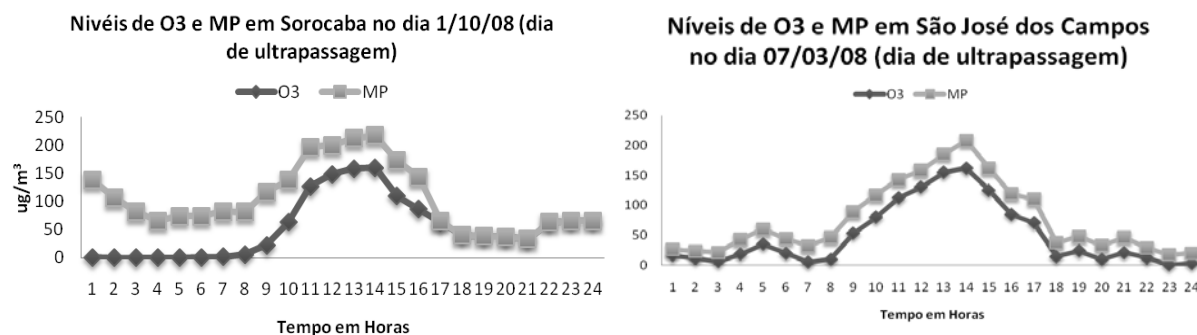


Figura 5: Comportamento horário das concentrações de O₃ e MP em Sorocaba (a) e São José dos Campos (b) em dia de ultrapassagem. (Fonte: Cetesh)

A Figura 6 é apresentada fim de se analisar a direção média predominante dos ventos nos dias de ultrapassagem do O₃ nas duas cidades em estudo. Foi feita uma análise comparativa hora a hora do O₃ e direção do vento respectivo para todos os dias de ultrapassagem do poluente nos anos de 2008 e 2009 nas duas cidades. A Figura 7 (os mapas) apresenta a predominância dos ventos nas cidades de São José dos Campos e Sorocaba nos dias em que se observaram ultrapassagem nos padrões de qualidade do ar para ozônio.

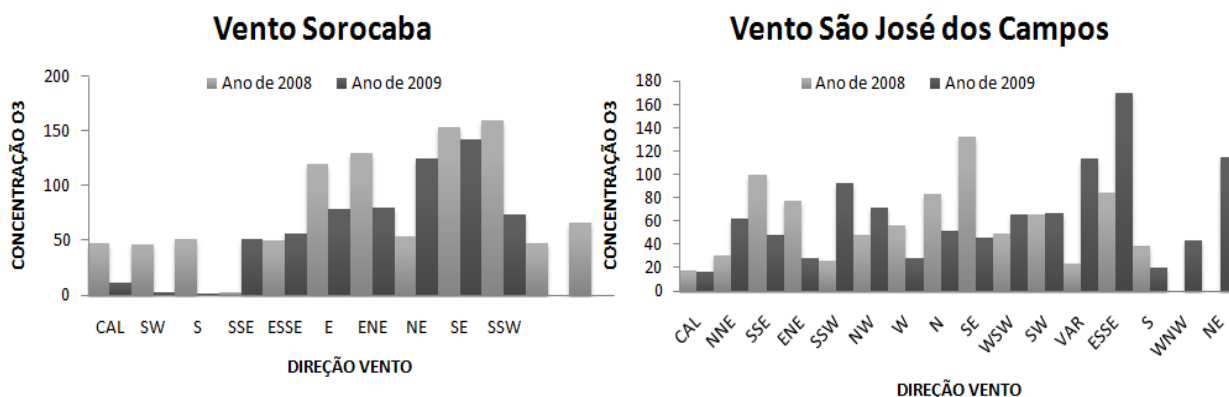


Figura 6: Direção predominante do vento de acordo com as concentrações hora a hora de O₃ nos anos de 2008 e 2009 em Sorocaba (a) e São José dos Campos (b).

Os dados apresentados nesses gráficos foram obtidos a partir da análise horária da rede automática da Cetesh que mede a qualidade do ar diariamente.



Figura 7b: Direção predominante dos ventos com maiores concentrações do poluente O₃ no ano de 2008 e 2009 em São José dos Campos.

Para a cidade de São José dos Campos, a direção predominante dos ventos nos dias de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar para ozônio, é do quadrante és-sudeste, região que corresponde a cidade de Jambeiro, (cidade com economia sustentada no setor secundário - IBGE) indicando que os precursores do ozônio provêm não só da imensa frota de veículos como também do setor industrial da região.

Com base dos dados apresentados neste trabalho, pode-se perceber que os poluentes MP e O₃ se comportam da mesma maneira, indicando terem as mesmas fontes emissoras, os veículos automotores, pois suas concentrações aumentam conforme aumenta a insolação e diminuem a medida que diminui o tráfego ao longo do dia. Além disso, em Sorocaba a direção predominante dos ventos provém dos quadrantes oeste (2008) e sudeste (2009), apontando as cidades de Iperó Alumínio e Votorantim –cidades com grande concentração industrial- como regiões potencializadoras da poluição causada pelo O₃. Para São José dos Campos, o quadrante é-sudeste (2009), corresponde à cidade de Jambeiro.

1. MOZETO, A. A. Química Atmosférica: a química sobre nossas cabeças. Caderno Temático de Química Nova na Escola, p. 41-49, maio 2001.
2. JACOB, D.J., Introduction to Atmospheric Chemistry. New Jersey: Princeton University Press, 258p.1999.
3. GOUVEIA, N.C. Air Pollution and health effects in São Paulo, Brazil: a time series analysis. 1997. Tese (Doutorado) - Faculty of medicine of the Univerty of London, Londres, 1997.
4. SWITLICKI, E.; PURI, S.; HANSSON, H. C. Urban air pollution source apportionment using a combination of aerosol and gas monitoring techniques. Atmospheric Environment, v. 20, n. 15, p. 2795-2809, 1996.
5. QIN, Y.,TONNESEN, G.S., WANG, Z. Weekend/weekday differences of ozone, Nox, Co, VOCs, PM10 and the light scatter during ozone season in Southern California. Atmospheric Environment, v.38, 3069-3087, 2004.
6. SKOOG, D.A.; HOLLER, F.J.; NIEMAN, T.A. **Princípios de Análise Instrumental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.
7. BAIRD, C. (2002) *Química Ambiental*. 2 ed. Porto Alegre. Ed. Bookman, 622p.
8. BOURBEL W. Richard, FOX L. Donald, TURNER D.Bruce, STERN C. Arthur. *Fundamentals of Air Pollution*, terceira edição. Academic Press. 1994.