

OCORRÊNCIAS DE CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE OZÔNIO E TEMPERATURA NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

Fioravante, Edwan F.; Brescia, Carla A. e Liu, Beverly W. Y.

Divisão de Qualidade do Ar – Fundação Estadual do Meio Ambiente / FEAM

Edwan Fernandes Fioravante: Bacharel em Estatística e Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais. Analista de Ciência e Tecnologia da Fundação Estadual do Meio Ambiente, Minas Gerais. edwanf@feam.br.

Carla Almeida Brescia: Estudante de Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Estagiária da Divisão de Qualidade do Ar da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais.

Beverly When Yiu Liu: Bacharel em Botânica pela National Chung Hsing University. MSc. e Ph.D. pela Cornell University. Pesquisador Pleno da Divisão de Qualidade do Ar da Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais. beverlyw@feam.br.

Endereço: Avenida Prudente de Moraes, 1671 – Bairro Santa Lúcia – Belo Horizonte – Minas Gerais – CEP: 30380-000. Telefone: (31) 3298-6385. E-mail:

OCORRÊNCIAS DE CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE OZÔNIO E TEMPERATURA NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

RESUMO

As concentrações máximas de ozônio registradas na estação Praça Rui Barbosa de Belo Horizonte, no período de 1999-2002, ocorreram com maiores frequências desde duas horas antes até uma hora depois da ocorrência da temperatura máxima, totalizando 64%, 68,9%, 69,3% e 66,5% em 1999, 2000, 2001 e 2002, respectivamente. Nesse período, não houve registro de ultrapassagem do padrão primário de qualidade do ar. Aproximadamente 20% das concentrações máximas de ozônio ocorreram às 15:00 horas.

ABSTRACT

The maximum ozone concentrations registered in the station Praça Rui Barbosa of Belo Horizonte had occurred with more frequencies from two hours before and one hour after the occurrence of the maximum temperature, totalizing 64%, 68,9%, 69,3% and 66,5% in 1999, 2000, 2001 and 2002, respectively. It had no registration of violation of the primary standard of air quality in this period. Approximately 20% of the maximum ozone concentrations had occurred at 3:00 pm.

Palavras-chave: ozônio, temperatura, radiação solar

1. Introdução

O ozônio pode irritar as vias aéreas do pulmão e causar inflamação semelhante a queimaduras. Outros sintomas incluem chiados, tosse, dor ao respirar profundamente, e dificuldades de respiração durante exercícios ou atividades ao ar livre. Pessoas com problemas respiratórios são mais vulneráveis, mas mesmo pessoas saudáveis que exerçam atividades ao ar livre podem ser afetadas com altos níveis de ozônio. Mesmo em níveis muito baixos, o ozônio ao nível do solo provoca uma variedade de problemas de saúde incluindo agravamento da asma, redução da capacidade pulmonar e aumento da suscetibilidade às doenças respiratórias como pneumonia e bronquite. Ao nível do solo, ele interfere na habilidade das plantas de produzir e armazenar nutrientes, o que as torna mais susceptíveis a doenças, aos insetos, a outros poluentes e às intempéries [EPA, 2002].

Ao contrário dos demais poluentes, o ozônio não ocorre geralmente na atmosfera como um poluente primário, isto é, como um poluente diretamente emitido pelas fontes, sendo, portanto, classificado como poluente secundário, ou seja, ele é gerado na própria atmosfera em decorrência de processos químicos com interveniência da radiação solar.

Um dos eventos principais para a formação do ozônio é a conversão de NO a NO₂:



que é uma reação extremamente lenta à temperatura ambiente [MELO, 1998]. Segundo Melo, as emissões de NO₂ são pequenas, se comparadas às emissões de NO. Pequenas concentrações de NO₂ presentes na atmosfera – sejam diretamente emitidas pelas fontes, sejam originadas da reação acima – desencadeiam o processo catalisado pela luz solar, que resulta na conversão completa e rápida do NO.

Antes de ocorrer essa conversão do NO, é necessário a dissociação do NO₂ presente na atmosfera, que ao absorver radiação solar, gera uma molécula de NO e

um radical de oxigênio, que por sua vez, reagirá rapidamente com o oxigênio molecular, formando o ozônio:



O ozônio formado reage prontamente com o NO ainda presente na atmosfera, através da reação de quimioluminescência, gerando NO₂ e O₂, enquanto existir NO disponível para a reação. Conseqüentemente, a concentração de ozônio não poderá aumentar, enquanto houver NO disponível.

Uma conseqüência desse mecanismo, é que na proximidade das fontes de emissão de NO – por exemplo, nas proximidades de vias de tráfego –, a concentração de ozônio não poderá ser grande, pois ele será consumido para a conversão. As maiores concentrações de ozônio serão encontradas à alguma distância das fontes (a sotavento), distância essa que é variável e depende de vários fatores atmosféricos [MELO, 1998].

O aumento da concentração de ozônio só é possível devido à participação de outros poluentes primários no processo, os compostos orgânicos voláteis – VOC. Eles oferecem as condições para que o NO seja convertido a NO₂, sem que haja consumo do ozônio produzido através das equações 2 e 3. O termo VOC designa uma classe de compostos, que podem ser hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas, compostos halogenados e outros, que são emitidos pelas fontes de poluição, e que são encontrados na fase gasosa da atmosfera. Os aldeídos, por exemplo, são emitidos por veículos automotores.

De acordo com o censo demográfico de 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a população do município de Belo Horizonte é estritamente urbana, totalizando 2.238.526 habitantes [IBGE, 2003]. Segundo dados do Departamento de Trânsito de Minas Gerais, a frota veicular registrada em Belo Horizonte até julho de 2001 correspondia a 681.612 veículos; sendo os veículos a gasolina os que apresentam a maior porcentagem, 73,4%, os veículos a álcool

correspondem a 20,1%, enquanto que os veículos a diesel correspondem a 6,5% [DUTRA, 2001].

Até outubro de 2002, a rede de monitoramento da qualidade do ar da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH apresentava 5 estações automáticas. Três estações foram adquiridas pela Refinaria Gabriel Passos – REGAP da Companhia Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS, como medida compensatória em seu processo de licenciamento ambiental junto ao Conselho de Política Ambiental – COPAM do Estado de Minas Gerais em 1995, as outras duas estações foram adquiridas pela Vallourec & Mannesmann Tubes para cumprimento de condicionante de licença de operação em 2002. Dentre essas estações, apenas a estação situada na Praça Rui Barbosa em Belo Horizonte, apresenta equipamento para medição de concentração de ozônio, cujo equipamento entrou em operação em 29 de abril de 1999.

Em outubro de 2002, a REGAP adquiriu mais três estações automáticas para cumprimento de condicionante de revalidação de licença de operação. Essas três estações foram instaladas na RMBH e apresentam, dentre seus equipamentos, analisadores de ozônio.

Para esse estudo, serão consideradas apenas as medições obtidas pela estação da Praça Rui Barbosa situada em Belo Horizonte devido à curta seqüência de medições das três últimas estações instaladas em 2002. Essa estação está localizada na Praça Rui Barbosa em terreno da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte; essa região é caracterizada por fluxo intenso de automóveis e ônibus urbanos e abriga linha de trem ferroviário e metrô sendo, por isso, influenciada predominantemente pela poluição de origem veicular [LIU, 2001].

O ano de 1999 foi o ano em que houve uma maior porcentagem de dias cuja classe de qualidade do ar foi definida como regular em função do ozônio (11,5%). Dentre os 42 dias classificados como Regular, em 24 deles, nenhum outro parâmetro: partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio ultrapassou o limite, ou seja, o ozônio foi o único responsável pela qualidade do ar passar de boa para regular

Tendo em vista a gravidade para a saúde humana e a frequência de ocorrência de concentrações de ozônio que determinam classe de qualidade regular para a região, é de interesse da Divisão de Qualidade do Ar – DIQAR determinar o horário mais freqüente dessas ocorrências para que medidas de prevenção e divulgação possam ser implementadas.

2. Objetivo do Trabalho

A ocorrência dos máximos horários de ozônio deve ser analisada juntamente com o parâmetro radiação solar, geralmente medido em aeroportos e distritos de meteorologia. Devido à falta de acesso a essas medições, passamos a comparar o horário da ocorrência das máximas concentrações de ozônio com o horário da temperatura máxima para cada dia durante o período de 1999 a 2002. O objetivo desse trabalho é determinar a frequência de concordâncias entre os horários de ocorrência de concentração máxima de ozônio e da temperatura máxima nesses últimos anos.

3. Metodologia

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente número 3, de 28 de junho de 1990 – Resolução 03/90 – estabelece como o método de análise do ozônio o Método da Quimioluminescência ou método equivalente [FEAM, 2000].

O equipamento utilizado na rede de monitoramento da RMBH é denominado O₃41M pelo fabricante francês. Esse equipamento é um analisador contínuo de ozônio, específico para pequenas concentrações, que usa o princípio de detecção da absorção da luz ultravioleta pelo ozônio que é um método equivalente ao da quimioluminescência. O intervalo de medição é programável até um máximo de 10.000 ppm; o limite mínimo de detecção é de 0,001 ppm para um tempo de resposta de 50 segundos [ENVIRONMENT S.A., 2000]. As medições obtidas nesse equipamento são transmitidas para o computador da sala de telemetria da

DIQAR via linha telefônica. As médias obtidas a cada 15 minutos são registradas nesse computador para obtenção do boletim diário com as respectivas médias horárias. O critério de representatividade utilizado é de 75% de dados válidos, ou seja, são necessárias pelo menos 3 médias de 15 minutos para o cálculo de cada média horária.

Para a identificação da maior média horária de cada dia, o critério de 75% também é utilizado. É necessário que pelo menos 18 médias horárias sejam consideradas válidas dentre as 24 médias horárias de um determinado dia para identificação da máxima média horária desse dia.

Seguindo esse critério, foram anotadas a hora de ocorrência da máxima média horária das concentrações de ozônio e a hora de ocorrência da temperatura máxima para cada dia. A diferença entre os horários de ocorrência desses máximos foi calculada da seguinte forma: hora de ocorrência da média máxima de ozônio menos hora de ocorrência da temperatura máxima. Por exemplo, uma diferença igual a "+1" significa que a concentração máxima do ozônio ocorreu uma hora depois do horário de ocorrência da temperatura máxima do respectivo dia; enquanto que uma diferença igual "-1" significa que a concentração máxima de ozônio ocorreu uma hora antes do horário.

4. Resultados Obtidos

A Tabela 1 apresenta a distribuição percentual das diferenças entre os horários de ocorrência máxima de ozônio e temperatura para os anos de 1999 (214 dias), 2000 (255 dias), 2001 (326 dias) e 2002 (283 dias). Algumas diferenças não foram obtidas quando o critério de representatividade não foi atendido ou pelo parâmetro ozônio ou pela temperatura. As porcentagens foram calculadas em relação ao número de dias do ano nos quais o critério de representatividade foi atendido para as duas variáveis em estudo temperatura e concentração ozônio.

Percebe-se que as maiores porcentagens ocorrem para as diferenças situadas entre -2 e +1, ou seja, entre duas horas antes do horário de ocorrência da temperatura

máxima do dia até uma hora após o horário de ocorrência da temperatura máxima. Essas porcentagens variaram entre 10 e 23%.

Tabela 1: Porcentagem das diferenças entre as horas de ocorrência de temperatura máxima e ozônio, Estação Praça Rui Barbosa, Belo Horizonte, 1999, 2000, 2001 e 2002

Diferença	1999	2000	2001	2002
Menor que -5	4,7	8,6	7,1	10,1
-5	0	1,2	0	0,6
-4	2,3	2,0	2,5	3,1
-3	6,5	6,3	7,1	5,8
-2	14,0	13,7	10,3	10,1
-1	18,7	19,6	18,4	16,9
0	17,8	22,7	23,3	19,9
1	13,5	12,9	17,3	19,6
2	4,7	6,3	7,1	8,3
3	1,9	3,9	4,2	2,2
4	0	1,6	1,0	0,9
5	0,5	0	0,7	0,3
Maior que 5	15,4	1,2	1,0	2,2

O valor zero indica que o horário da temperatura máxima do dia coincidiu com o horário de concentração máxima de ozônio. No intervalo de -1 a $+1$, ocorreram 50%, 55,2%, 59% e 56,4% das diferenças nos anos de 1999, 2000, 2001, 2002, respectivamente.

Em 1999, dentre as diferenças maiores que 5, foi verificado uma diferença de 23 horas; entretanto, as diferenças mais freqüentes nesse grupo correspondem a 9 e 10 horas que totalizaram 20 ocorrências. Em 2002, dentre as diferenças menores que -5 , houve a ocorrência de duas diferenças iguais a -15 , sendo as diferenças mais freqüentes iguais a -11 e -10 que totalizaram 14 diferenças.

A Figura 1 apresenta essas diferenças em função da concentração máxima de ozônio. As diferenças maiores que 5 horas apresentam concentrações máximas de ozônio de até $112,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $43,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $53,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 1999, 2000, 2001 e 2002, respectivamente. As diferenças menores que 5 horas apresentam concentrações máximas de ozônio de até $66,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $55,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $53,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $71,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As possíveis explicações para a ocorrência de concentrações máximas de ozônio distantes do horário de ocorrência das temperaturas máximas seriam dias

nublados e ozônio transportado de outra região para Belo Horizonte, chegando na estação de medição fora do período de ocorrência de temperatura máxima.

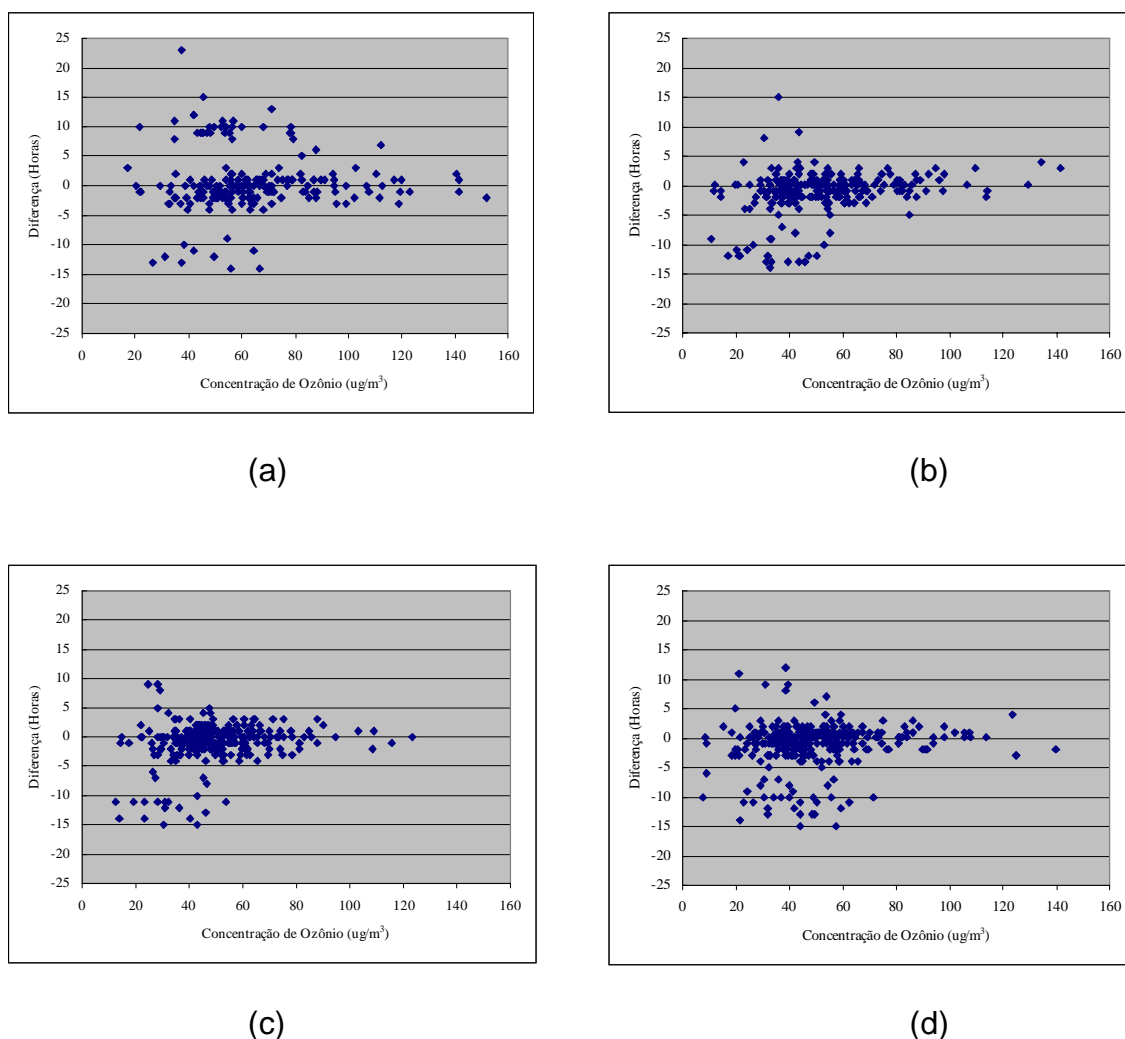


Figura 1: Diferença de horas entre a ocorrência da temperatura máxima e o máximo de ozônio em função da concentração máxima de ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para os anos de 1999(a), 2000 (b), 2001 (c) e 2002 (d)

O gráfico de dispersão da diferenças de ocorrência versus as concentrações máximas de ozônio para o ano de 1999, Figura 1(a), distingue-se dos demais gráficos em relação às concentrações menores que $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para essas concentrações, há uma maior freqüência de diferenças em torno de 10 horas. Com exceção de duas diferenças obtidas para o ano de 1999, as concentrações maiores ou iguais a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ocorreram entre +5 e -5 horas, ou seja, as concentrações

máximas de ozônio que classificam a qualidade do ar como Regular ocorreram desde 5 horas antes da temperatura máxima até 5 horas depois da temperatura máxima.

A classe de qualidade do ar é determinada em função da concentração dos poluentes. Para o ozônio, essa classificação é determinada pela maior média horária do dia. O Quadro 1 apresenta as classes de qualidade do ar em função da concentração máxima diária do parâmetro ozônio em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Quadro 1: Classes de qualidade do ar em função da concentração máxima diária do parâmetro ozônio

Classes	Concentração Máxima Diária
Boa	Menor ou igual a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Regular	Maior que 80 e menor ou igual a $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Inadequada	Maior que 160 e menor ou igual a $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Má	Maior que 400 menor ou igual a $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Péssima	Maior que 800 e menor ou igual a $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Crítica	Maior que $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$

A Tabela 2 apresenta a distribuição percentual das classes de qualidade do ar em função do poluente ozônio no período de maio de 1999 a dezembro de 2002 em Belo Horizonte.

Tabela 2: Porcentagens de dias do ano segundo qualidade do ar em função do poluente ozônio, Praça Rui Barbosa, Belo Horizonte, 1999 a 2002

Ano	Qualidade do Ar		Porcentagem de Omissões
	Boa	Regular	
1999	51,5	11,5	37,0
2000	62,8	7,9	29,2
2001	80,0	4,4	15,6
2002	83,3	7,9	8,8

Em 1999, dos 42 dias classificados com qualidade do ar Regular, 13 deles ocorreram no mês de setembro, cuja temperatura média, $23,4 \text{ }^\circ\text{C}$, foi a maior obtida no período de maio a novembro. A maior porcentagem de omissões em 2000 deve-

se aos meses de março a maio em que o equipamento encontrava-se em manutenção; em 2001, devem-se ao mês de outubro devido ao racionamento de energia elétrica imposto pelo governo. A redução de dias cuja qualidade do ar foi classificada como Regular entre 1999 (11,5%) e 2002 (7,9%) também foi verificado para os demais poluentes monitorados por essa estação: material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio.

Como era esperado, os horários mais freqüentes para a ocorrência de concentrações máximas de ozônio situaram-se entre 13:00 e 16:00 horas para todos os anos em estudo. A distribuição percentual desses horários pode ser verificada na Tabela 3.

Tabela 3: Distribuição percentual dos horários de ocorrência das concentrações máximas de ozônio, Belo Horizonte, 1999-2002.

Hora	1999	2000	2001	2002
1	0,9	2,7	1,0	2,1
2	2,2	1,2	0,6	1,8
3	0	3,1	2,3	1,8
4	2,2	1,6	1,0	0,9
5	0,4	0,8	1,6	1,5
6	0	0	0	0,6
7	0	0	0	0,9
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0,4	0	0,6
11	2,2	1,6	2,3	4,2
12	7,0	10,6	9,7	9,0
13	16,5	16,8	15,3	10,2
14	15,7	18,4	20,1	18,2
15	19,1	21,2	20,1	17,6
16	13,5	15,3	17,5	17,4
17	5,6	3,9	6,5	6,6
18	0,4	1,6	0,7	4,2
19	0	0	0	0,6
20	0,4	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0,3	0,3
23	0,4	0,8	0,3	0
24	13,5	0	0,7	1,5

Nota: as porcentagens foram calculadas em relação aos totais: 230, 255, 308 e 334 dias para os anos de 1999, 2000, 2001 e 2002, respectivamente.

Com exceção do ano de 2002, a frequência de ocorrência de concentrações máximas de ozônio no horário de 15:00 é ligeiramente superior à frequência de ocorrência nos demais horários do período de 13:00 às 16:horas. Os horários de 8:00, 9:00 e 21:00 foram os únicos horários em que não houve registro de concentrações máximas horárias de ozônio no período de 1999 a 2002. Para o ano de 1999, uma porcentagem considerável das concentrações máximas de ozônio ocorreu à meia-noite; esse comportamento não foi tão intenso nos anos posteriores.

A Figura 2 apresenta a variação das concentrações máximas diárias de ozônio em cada mês dos anos de 1999, 2000, 2001 e 2002. No mês de novembro de 1999, as concentrações máximas diárias de ozônio variaram entre $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir do mês de novembro, há uma redução nas concentrações máximas de ozônio que permanece até o mês de janeiro. Esses meses correspondem ao período em que as chuvas são constantes em Belo Horizonte, ou seja, há uma maior cobertura de nuvens nesse período.

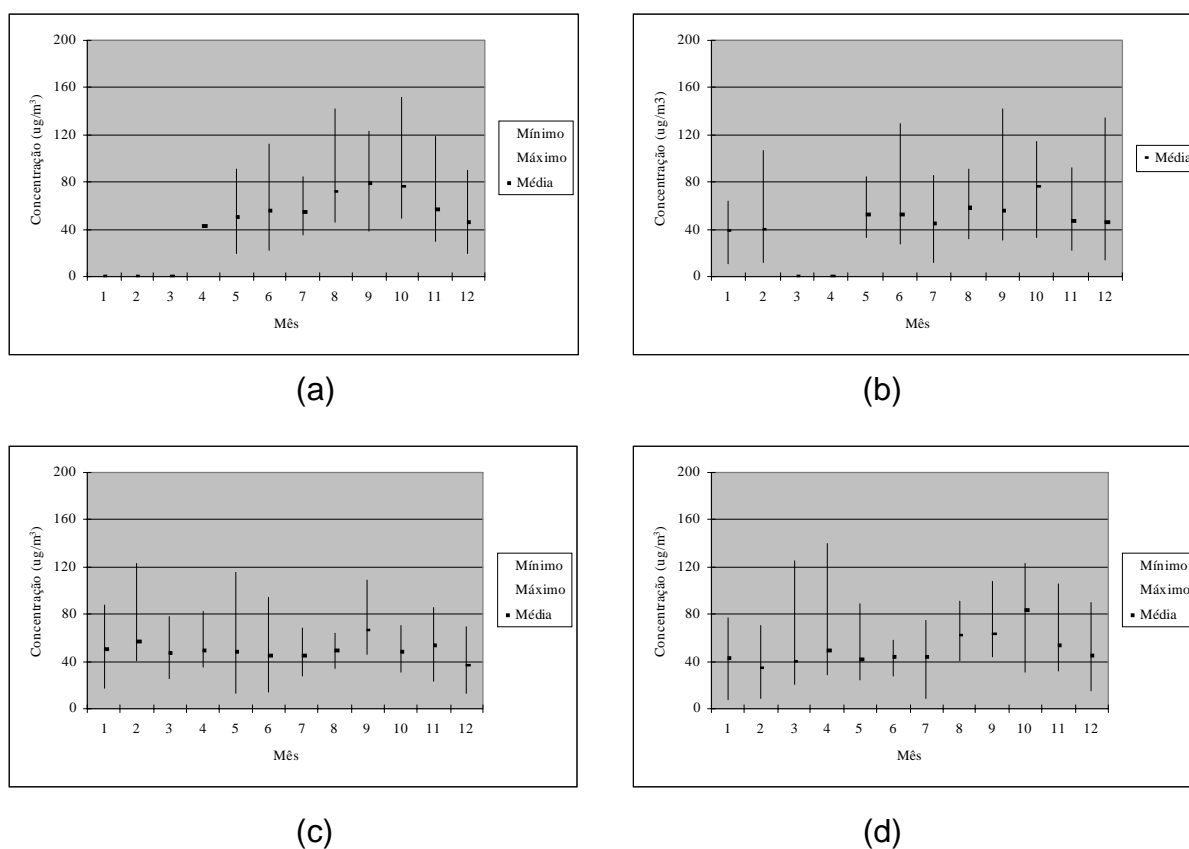


Figura 2: Variação das concentrações máximas diárias de ozônio para cada mês dos anos de 1999(a), 2000(b), 2001(c) e 2002 (d).

As estatísticas descritivas: mínimo, máximo, mediana, primeiro e terceiro quartis, coeficiente de variação obtidas para as concentrações máximas de ozônio em cada mês do ano, não apresentaram tendências que se mantivessem nos demais anos. É aconselhável, portanto, uma série histórica maior para que possíveis tendências possam ser identificadas com maior segurança.

5. Conclusão

Apesar da estação automática de monitoramento da qualidade do ar de Belo Horizonte estar situada em uma região caracterizada pelo fluxo intenso de veículos, não houve ultrapassagem do padrão primário de qualidade do ar do parâmetro ozônio. Deve-se ressaltar, entretanto, que a região de maior tráfego de veículos situa-se à oeste da estação e que a direção predominante do vento é de leste para oeste. Como discutido anteriormente, as maiores concentrações de ozônio deverão ocorrer com maior frequência a oeste dessa região.

A variável temperatura não é suficiente para explicar a ocorrência de quaisquer níveis de concentrações máximas de ozônio; apenas para as concentrações máximas de ozônio superiores a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obteve-se um menor intervalo para as diferenças entre a hora de ocorrência dessas concentrações e temperatura máximas, esse intervalo compreende diferenças menores e iguais a 5 horas e maiores ou iguais a -5 horas. As diferenças mais frequentes corresponderam ao intervalo de -2 a +1, ou seja, de duas horas antes até uma hora depois da ocorrência da temperatura máxima; nos anos de 1999, 2000, 2001 e 2002, essas frequências corresponderam a 64%, 68,9%, 69,3% e 66,5%, respectivamente. Aproximadamente 20% das concentrações máximas de ozônio ocorreram às 15:00 horas.

Para 2004, já estarão disponíveis as concentrações máximas de ozônio medidas pelas 3 novas estações que entraram em operação em outubro de 2002 nos municípios de Betim e Ibirité os quais fazem parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Pretende-se, futuramente, analisar esses resultados juntamente com as medições de radiação solar assim que os dados da estação do Aeroporto Carlos

Prates estiverem disponíveis para FEAM, o que possibilitará uma maior precisão na interpretação dos resultados obtidos.

6. Bibliografia

DUTRA, E.G., RANNA, D.C.S., FIORAVANTE, E.F., SILVEIRA, I.L. **Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso em Minas Gerais – PCPV**. Relatório técnico. Belo Horizonte: FEAM, 2001. 82 p.

ENVIRONNEMENT S.A. **Technical Manual: O₃41M – LCD**. Poissy, França, 2000. 90p.

EPA. U.S. Environmental Protection Agency. **Air Quality Where You Live**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/air/urbanair/ozone>>. Acesso em: 23 dez. 2002.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais. **Licenciamento ambiental: coletânea de legislação**. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, Volume V. 2ª edição. Belo Horizonte: FEAM, 2000. 438 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 abr. 2003.

LIU, B.W.Y., FIORAVANTE, E.F., DUTRA, E.G. e SILVEIRA, I.L. **Monitoramento da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte; período de 1999 a 2000**. Belo Horizonte: FEAM, 2001. 47 p.

MELO, G.C.B. **Efluentes Atmosféricos e Qualidade do Ar**. Apostila de curso de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1998. 67p.