



**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

---

DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS E  
ENGENHARIA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL

DIVISÃO DE QUALIDADE DO AR

SETOR DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DO AR

SETOR DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS

SETOR DE METEOROLOGIA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO  
OZÔNIO NA REGIÃO METROPOLITANA  
DE SÃO PAULO**

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o ozônio ultrapassa freqüentemente o padrão de qualidade do ar de  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estabelecido pela Lei Estadual 8.468, de 1976, e por diversas vezes supera o valor de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (102 ppb), o que determina a qualidade do ar má, destacando-se, atualmente, como o poluente com maior número de ultrapassagens do padrão.

Este estudo faz parte do projeto "Estudo do Comportamento de Oxidantes Fotoquímicos no Ar da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)" e teve como objetivo apresentar um estudo investigativo do comportamento do ozônio, visando o entendimento de seus processos de formação e transporte, de forma a auxiliar na implantação de programas e medidas de previsão e controle de altas concentrações.

Foram utilizados dados de  $\text{NO}_x$  (NO e  $\text{NO}_2$ ), HCNM e  $\text{O}_3$ , além de parâmetros meteorológicos das estações da Rede Automática de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB (RAQAr) no período de maio de 1996 a dezembro de 1999.

Com relação ao comportamento do ozônio na RMSP, o perfil sazonal mostrou uma maior ocorrência de altas concentrações desde o final do inverno até início do verão. A maior freqüência não ocorre nos meses mais quentes e com maior incidência de radiação solar provavelmente pelo aumento da nebulosidade que ocorre nesses meses, o que reduz a quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície, e conseqüentemente, diminui a formação do ozônio na baixa troposfera. A duração dos episódios, em geral, é curta, isto é, as ultrapassagens do padrão ocorrem com maior freqüência por uma ou duas horas no dia, entre 13 e 15 horas. Em relação à distribuição dos episódios durante os dias da semana, não observou-se diferenças significativas entre os dias úteis e finais de semana.

Através da análise dos perfis médios dos poluentes de cada uma das estações observou-se um comportamento diferenciado devido à distância da via, assim, as estações foram separadas em dois grupos: veiculares e não veiculares.

As estações não veiculares, como Ibirapuera e Mauá, foram as que apresentaram o maior número de ultrapassagens. Já as estações Congonhas, Osasco, Lapa e Parque D. Pedro II, apresentaram um menor número de ultrapassagens em função da proximidade da via.

Na análise do perfil das concentrações médias horárias de NO,  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  observou-se que o valor máximo de NO ocorre normalmente no período da manhã, em

todas as estações, por volta das 8 horas coincidindo com o pico de tráfego, e que ainda no período da manhã, a concentração de NO diminui, sendo acompanhada do aumento do NO<sub>2</sub>, cujo pico ocorre por volta das 10 horas.

Nas estações veiculares, o perfil médio de concentração de NO é elevado em função da forte emissão dos veículos que circulam próximos e a concentração de ozônio é baixa uma vez que é rapidamente consumido pelo NO.

Nas estações não veiculares a concentração média de NO no período da manhã é baixa quando comparada às estações veiculares. No horário de formação do ozônio a concentração de NO cai praticamente a zero e a concentração de NO<sub>2</sub> também diminui devido a fotólise do NO<sub>2</sub>. As estações Ibirapuera e Mauá apresentaram características distintas com relação aos perfil médio do ozônio, principalmente nos dias de qualidade do ar inadequada e má. Em Mauá, as altas concentrações de ozônio muitas vezes prolongam-se até o final da tarde (horário das 17/18 horas), enquanto que no Ibirapuera, neste mesmo horário, as concentrações de ozônio já são baixas.

As tendências de concentração de O<sub>3</sub> nas estações Ibirapuera e Mauá no período de 1996 a 1999, de maneira geral, foram semelhantes, não sendo observados muitos casos de ultrapassagens em dias consecutivos. No entanto, do total de dias de episódios que ocorreram nessas estações, nesse período somente 21% dos casos ocorreram nas duas estações. Isto provavelmente ocorre devido à diferente localização geográfica dessas estações na RMSP, sendo assim influenciadas por diferentes condições de transporte pelo vento.

Na estação Ibirapuera, observou-se que os dias de episódios ocorreram com temperatura máxima entre 25 e 30°C e umidade relativa média de 42%. Observou-se também uma circulação convergente para a região central do Município de São Paulo, onde esta estação está localizada.

No caso de Mauá observou-se que a maioria dos episódios ocorrem em dias quentes, com temperaturas acima de 28°C e umidade relativa média mais baixa (35%) devido a predominância de ventos quentes e secos de direção noroeste.

Quanto a razão [NO<sub>2</sub>]/[NO], observou-se que as estações veiculares apresentaram razão baixa e praticamente constante no período das 8 as 12h, o que indica que nessas estações o NO é alto devido a forte emissão veicular. No caso das estações não veiculares, as razões foram baixas no período das 8 às 10 horas, horário de maior emissão de NO, e aumentaram rapidamente depois desse horário.

Em relação aos HCNM observou-se, na estação Parque D. Pedro II, uma boa correlação com o  $\text{NO}_x$  indicando que estes poluentes devem estar sendo emitidos pelas mesmas fontes. A análise da razão NMHC/ $\text{NO}_x$  mostrou-se COV limitante, no entanto a representatividade dessa estação está restrita a microescala o que impede afirmar qual a situação atual da RMSP em relação ao balanço dos precursores.

Para um melhor entendimento do processo de formação do ozônio deverão ser realizados ainda estudos específicos nos dias de ultrapassagens do padrão, bem como, pesquisas para avaliação de modelos de formação e transporte de ozônio, dentro do projeto de Oxidantes Fotoquímicos.

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

	Pág.
Figura 1 – Perfil de concentração de espécies envolvidas no ciclo do ozônio obtido pela variação de intensidade da luz do dia, num sistema fechado .....	10
Figura 2 – Localização das estações de Ozônio na RMSP .....	12
Figura 3 – Total de dias de ultrapassagem do Padrão de Qualidade do Ar (PQAR) de ozônio por mês na RMSP de jan/97 a dez/99 .....	21
Figura 4 – Total de dias de ultrapassagens do PQAR de ozônio por estação na RMSP de mai/96 a dez/99 .....	23
Figura 5 – Máximas diárias de 1 hora de ozônio (ppb) nas estações Ibirapuera e Mauá em 1997, 1998 e 1999 .....	25
Figura 6 – Horário em que ocorreram as máximas concentrações de O <sub>3</sub> nos dias de ultrapassagem do padrão, nas estações Mauá e Ibirapuera, de mai/96 a dez/99 ...	26
Figura 7 – Total de dias em função da duração em horas de ultrapassagem do padrão de ozônio (82 ppb), nas estações Ibirapuera e Mauá, de mai/96 a dez/99..	26
Figura 8 – Total de ultrapassagens do padrão de ozônio (82 ppb) por dia da semana, na RMSP de mai/96 a dez/99 .....	27
Figura 9 – Distribuição do Índice de Qualidade do Ar por Ozônio na estação (a) Parque D. Pedro II e (b) Ibirapuera por dia da semana de mai/96 a dez/99 .....	28
Figura 10 - Rosas de vento para o período de 1996 a 1998 .....	29
Figura 11 - Rosas de Vento para os dias de episódios em cada estação no período de 1996 a 1998 .....	31
Figura 12 - Rosas de vento nos dias de episódios na estação Ibirapuera no período de 1996 a 1998 .....	33
Figura 13- Rosas de vento nos dias de episódios na estação Mauá no período de 1996 a 1998 .....	34
Figura 14 - Dispersão de Máximos de O <sub>3</sub> (ppb) e Máximas de Temperatura (°C), nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul, (d) Mauá .....	35
Figura 15 - Dispersão de Máximos Diários de O <sub>3</sub> (ppb) e Mínima Umidade Relativa Diária (%), nas estações: (a) Ibirapuera, (b) Mauá .....	37
Figura 16 – Temperatura e Umidade Relativa do Ar nos dias de ultrapassagens do padrão nas estações : a) Ibirapuera e b) Mauá .....	38
Figura 17 – Dispersão de Máxima de Radiação Global (W/m <sup>2</sup> ) na estação Ibirapuera e Máxima concentração de O <sub>3</sub> (ppb) nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul, (d) Mauá .....	39
Figura 18 – Valores médios de concentração na estação Congonhas nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b) por ozônio .....	42
Figura 19 – Valores médios de concentração na estação Parque Dom Pedro II nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) por ozônio .....	43
Figura 20 – Valores médios de concentração na estação Osasco nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) por ozônio .....	44

	Pág.
Figura 21 – Valores médios de concentração na estação São Caetano do Sul nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio .....	46
Figura 22 – Valores médios de concentração na estação Ibirapuera nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio .....	47
Figura 23 – Valores médios de concentração na estação Mauá nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio .....	48
Figura 24 - Razão $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$ em função da hora do dia para as estações Congonhas (a), Parque D. Pedro II (b) e Osasco (c), para os dias com índice de qualidade do ar boa, regular e inadequada .....	50
Figura 25 - Razão $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$ em função da hora do dia para as estações São Caetano do Sul (a), Ibirapuera (b) e Mauá (c), para os dias com índice de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má .....	51
Figura 26 – Valores médios de concentração nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio na estação Ibirapuera ....	53
Figura 27 - Dispersão de Máximos de $\text{O}_3$ do Ibirapuera e HCNM (médias da 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II, para o ano de 1999 .....	54
Figura 28 - Dispersão de HCNM e $\text{NO}_x$ do Parque D. Pedro II, no período das 7 às 9 horas, para o ano de 1999 .....	54
Figura 29 – Frequência de ocorrência de ultrapassagens do padrão na estação Ibirapuera em função da razão HCNM/ $\text{NO}_x$ (média das 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II e de S. Caetano do Sul, em 1999 .....	55
Tabela 1 – Máximas diárias de Temperatura – Est. Parque D. Pedro II - 1997 a 1999 .....	21
Tabela 2 – Distribuição do número de dias em função do índice de qualidade do ar para ozônio no período de 1996 a 1998 .....	45

## GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

CH<sub>4</sub> - metano  
CO - monóxido de carbono  
CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono  
COV - composto orgânico volátil  
DV - direção do vento  
E - direção leste  
EPA - Agência Ambiental dos EUA  
hv - energia (luz solar)  
HCNM - hidrocarbonetos não-metano  
HO<sub>2</sub> - peroxi-radical  
m/s - metros por segundo  
N - direção norte  
NE - direção nordeste  
NO - óxido de nitrogênio  
NO<sub>2</sub> - dióxido de nitrogênio  
NO<sub>x</sub> - óxidos de nitrogênio  
NW - direção noroeste  
O<sub>2</sub> - oxigênio  
O<sub>3</sub> - ozônio  
OH<sup>•</sup> - radical hidroxila  
P - pressão atmosférica  
PI - partícula inalável  
ppb/ppm - partes por bilhão/partes por milhão  
PQAR - Padrão Primário de Qualidade do Ar  
RAD - radiação solar  
RAQAr - Rede Automática de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB  
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo  
RO<sup>•</sup>/RO<sub>2</sub><sup>•</sup> - radicais orgânicos  
S - direção sul  
SE - direção sudeste  
SO<sub>2</sub> - dióxido de enxofre  
SW - direção sudoeste  
T - temperatura do ar  
UR - umidade relativa do ar  
VV - velocidade do vento  
W - direção oeste  
W/m<sup>2</sup> - watts por metro quadrado  
°C - graus Celsius  
µg/m<sup>3</sup> - microgramas por metro cúbico

# 1. INTRODUÇÃO

O aumento dos níveis de ozônio (O<sub>3</sub>) nas regiões metropolitanas tem sido objeto de preocupação por parte das instituições ambientais em todo o mundo há vários anos, tanto pelas concentrações encontradas quanto pela dificuldade no controle de seus precursores.

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o ozônio ultrapassa freqüentemente o padrão de qualidade do ar de 160 µg/m<sup>3</sup> (82 ppb), estabelecido pela Lei Estadual 8.468, de 1976, e por diversas vezes supera o valor de 200 µg/m<sup>3</sup> (102 ppb), o que determina a qualidade do ar má. O ozônio na RMSP destaca-se, atualmente, como o poluente com maior número de ultrapassagens do padrão.

Este relatório tem como objetivo apresentar um estudo investigativo do comportamento do ozônio na Região Metropolitana de São Paulo, visando o entendimento de seu processo de formação e transporte, de forma a auxiliar na implantação de programas e medidas de controle e de previsão. Para isso, foram utilizados dados de NO<sub>x</sub> (NO e NO<sub>2</sub>), O<sub>3</sub>, e hidrocarbonetos não metano (HCNM), além de parâmetros meteorológicos das estações da Rede Automática de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB (RAQAr) no período de maio de 1996 a dezembro de 1999, uma vez que a rede da CETESB foi renovada em 1996 e foram ampliados os locais de medição de ozônio.

O relatório apresenta, no capítulo 2, uma breve introdução sobre os mecanismos de formação do ozônio na troposfera. No capítulo 3 é feita uma caracterização das estações de monitoramento utilizados no presente estudo. São apresentados resumidamente, no capítulo 4, as condições meteorológicas que influenciam na formação do ozônio na RMSP. No capítulo 5 são apresentados os perfis de ultrapassagens anuais, horário e por dia da semana do padrão do ozônio. Os aspectos meteorológicos, capítulo 6, incluem um levantamento, anual e dos dias de episódios, de direção e velocidade de vento nas diferentes estações medidoras de O<sub>3</sub> e mostra as relações entre O<sub>3</sub> e temperatura, umidade relativa e radiação global. No capítulo 7 são apresentados as concentrações médias horárias de O<sub>3</sub>, NO e NO<sub>2</sub> para as diferentes estações, separadas por índice de qualidade do ar por ozônio, assim como as razões [NO<sub>2</sub>]/[NO] para as mesmas estações e algumas considerações sobre os compostos orgânicos voláteis (COVs). Finalizando, os capítulos 8 e 9 apresentam as conclusões e as considerações finais, respectivamente.

## 2. O OZÔNIO NA TROPOSFERA

### 2.1 Formação

A literatura apresenta um grande número de estudos<sup>1-9</sup> visando auxiliar no desenvolvimento de programas de previsão e controle dos teores de ozônio, uma vez que este poluente, embora benéfico na estratosfera, onde forma uma camada protetora contra efeitos danosos da radiação ultravioleta, tem efeitos tóxicos nas camadas mais baixas da atmosfera.

O ozônio não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis (COVs) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) em presença de luz solar.

Os óxidos de nitrogênio, NO e NO<sub>2</sub>, são lançados na atmosfera através de processos de combustão (veicular e industrial). Já os compostos orgânicos voláteis são emitidos através de processos evaporativos, da queima incompleta de combustíveis automotivos e em processos industriais.

A formação do ozônio na troposfera inicia-se pela fotólise do NO<sub>2</sub>, o produto desta reação, NO, reage rapidamente com O<sub>3</sub> para regenerar o NO<sub>2</sub>.



Dessa maneira, o O<sub>3</sub> mantém-se num estado estacionário que depende da velocidade de fotólise do NO<sub>2</sub> e da razão [NO<sub>2</sub>]/[NO]. Assim, se nenhum outro processo convertesse NO em NO<sub>2</sub> a concentração de ozônio não aumentaria significativamente. No entanto, na presença dos compostos orgânicos voláteis, as concentrações de ozônio aumentam uma vez que NO é convertido a NO<sub>2</sub> via formação de radicais. A velocidade de formação do ozônio depende da quantidade e da reatividade de cada um desses compostos. Muitas são as reações químicas envolvendo os COVs presentes na atmosfera, sendo o mecanismo principal representado resumidamente pelas reações a seguir:



Os compostos orgânicos reagem com os radicais  $\cdot\text{OH}$  ou sofrem fotólise para formar peroxi radicais ( $\text{RO}_2\cdot$ ) que posteriormente reagem com  $\text{NO}$  formando  $\text{NO}_2$ .

Em estudo realizado em sistema fechado, pode-se verificar (Figura 1) a variação na concentração das principais espécies envolvidas no ciclo fotoquímico do ozônio em função da intensidade da luz do dia<sup>4</sup>.

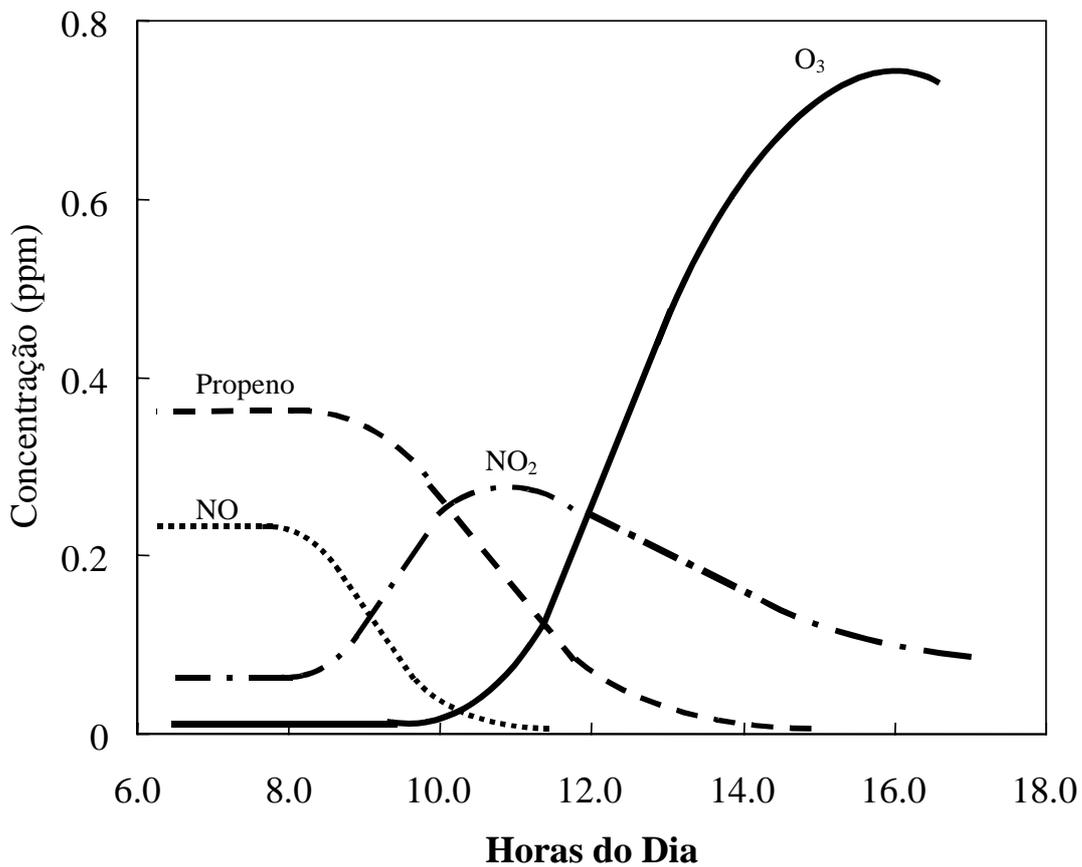


Figura 1 – Perfil de concentração de espécies envolvidas no ciclo do ozônio obtido pela variação de intensidade da luz do dia, num sistema fechado<sup>4</sup>.

Observa-se, na Figura 1, que o ciclo fotoquímico inicia-se com a conversão de NO a NO<sub>2</sub> pela reação com o propeno (COV), eq. (4) a (6). No decorrer do dia, conforme a intensidade da radiação solar aumenta, a fotólise do NO<sub>2</sub> e conseqüentemente a concentração de O<sub>3</sub> no sistema aumenta, (eq. (1) e (2)). A diminuição na concentração de NO<sub>2</sub> somente ocorre após todo NO ter sido consumido.

Além da complexidade do sistema de reações químicas, fatores meteorológicos e topográficos fazem com que os gases precursores emitidos sejam transportados a vários locais, às vezes distantes das fontes, resultando em níveis altos de ozônio em locais distintos da área onde ocorreram as emissões.

Segundo a literatura<sup>5-6</sup>, a formação de ozônio ocorre também, com menor velocidade de reação, devido à oxidação do monóxido de carbono, CO, na presença de óxidos de nitrogênio.



## 2.2 Efeitos

Com relação ao efeito do ozônio sobre a saúde, as ocorrências mais relatadas da exposição de seres humanos são irritação nos olhos, vias respiratórias e o agravamento de doenças respiratórias preexistentes, como a asma. Sabe-se que a exposição repetida ao ozônio pode tornar as pessoas mais suscetíveis a infecções respiratórias e inflamação nos pulmões. Adultos e crianças saudáveis também estão sujeitos aos efeitos danosos causados pelo ozônio se expostos a níveis elevados durante a prática de exercícios físicos.<sup>10</sup>

Além de danoso à saúde humana o ozônio é prejudicial à vegetação causando danos às colheitas e à vegetação natural. Os efeitos observados em plantas referem-se à diminuição na taxa de crescimento, aumento da vulnerabilidade a insetos e problemas de pigmentação, devido a alterações no processo de fotossíntese<sup>4</sup>.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

A RAQAr possui 23 estações na RMSP, sendo que atualmente 11 medem as concentrações de ozônio, no entanto, neste estudo foram utilizadas 9 estações, conforme ilustrado na Figura 2, uma vez que as estações Santana e Diadema começaram a operar apenas em maio de 1999.



Figura 2 – Localização da estações de Ozônio na RMSP.

Os níveis de concentração de poluentes observados em uma determinada estação de amostragem ocorrem em função de uma série de fatores relativos a localização desta estação e das fontes de emissão que a influenciam.

Entre os fatores que influenciam os resultados do monitoramento, pode-se destacar a proximidade de vias de tráfego, o uso e a ocupação do solo nas áreas próximas (existência de fontes industriais etc.), condições de relevo, existência de anteparos etc.. Todos esses fatores determinam a escala de representatividade da estação, que deve ser escolhida conforme os objetivos do monitoramento.

A escala espacial de representatividade<sup>11</sup> define a área de abrangência em que os níveis de concentração e os valores medidos pela estação podem ser considerados similares. As escalas espaciais de maior interesse, conforme o objetivo a que se destinam, são:

- **Microescala** - concentrações abrangendo áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros;
- **Média-escala** - concentrações para áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes) com dimensões entre 100 e 500 metros;
- **Escala de bairro** - concentrações para áreas da cidade (bairros), com atividade uniforme, com dimensões de 500 a 4.000 metros;
- **Escala urbana** - concentrações de cidade ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50 Km;
- **Escala regional** - concentrações geralmente de uma área rural, de geografia razoavelmente uniforme e de dimensões de dezenas a centenas de quilômetros;
- **Escalas nacional e global** - concentrações de um país e do planeta como um todo, respectivamente;

No caso das estações de monitoramento de O<sub>3</sub>, estas não devem estar localizadas muito próximas de vias de tráfego e de árvores, pois estes tendem a reduzir a concentração medida. Segundo a agência ambiental dos EUA<sup>12</sup> (EPA), uma estação que mede O<sub>3</sub> deve estar distante pelo menos 30 metros de vias de tráfego (acima de 20.000 veículos por dia) e a 20 metros de árvores.

Como forma de auxiliar no entendimento das concentrações observadas nas estações utilizadas neste estudo, fez-se uma caracterização simplificada das condições de cada uma delas, juntamente com a rosa de vento obtida para o período de 1996 a 1998, apresentadas a seguir.

## Estação Parque D. Pedro II

Endereço: Parque D. Pedro II, 319 - Centro - São Paulo

Topografia da região: Plana

Uso do solo: Comercial

Condições locais: Localizada a uns 5 metros da via, com grande movimento de veículos leves e pesados.

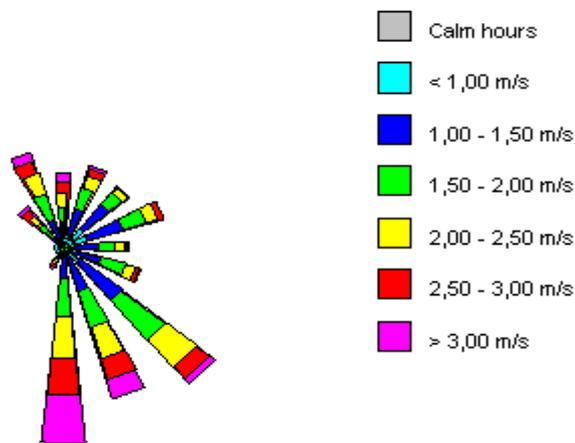
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos leves e pesados.

Principal escala de representatividade : Micro.

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, HCNM.

Parâmetros meteorológicos medidos: UR, T, VV, DV

Rosa de vento :



## Estação Moóca

Endereço: Administração Regional da Moóca. Rua Bresser, 2341 - Moóca.

Topografia da região: Plana.

Uso do solo: Residencial, comercial e industrial.

Condições locais: Localizada a uns 50 metros da via mais próxima. Há pouca atividade industrial próxima.

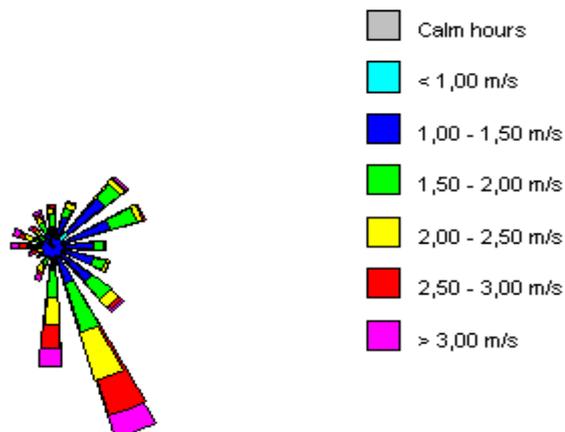
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos e indústrias.

Principal escala de representatividade: Bairro.

Poluentes medidos: PI, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: VV, DV.

Rosa de vento:



### Estação Ibirapuera

Endereço: Parque Ibirapuera, 1985 - Ibirapuera.

Topografia da região: Plana.

Uso do solo: Residencial

Condições locais: Região de área verde circundada por áreas urbanizadas. Está afastada de fontes veiculares e industriais de influência direta.

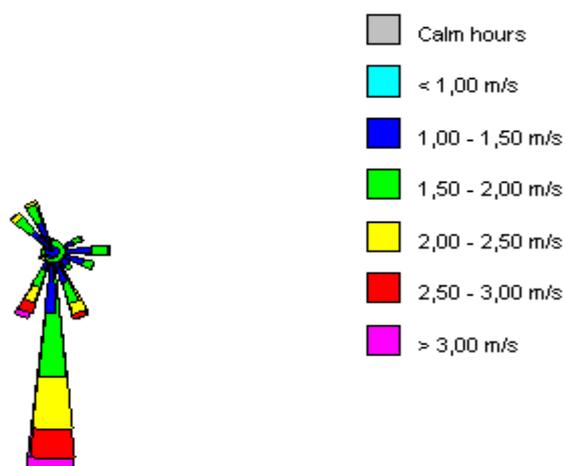
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos.

Principal escala de representatividade: Urbana (exceto feriados e fins de semana).

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: UR, T, VV, DV, P, RAD.

Rosa de vento:



### **Estação: São Caetano do Sul**

Endereço: Rua Aurélia s/n - Bairro da Fundação - São Caetano do Sul.

Topografia da região: Razoavelmente plana.

Uso do solo: Residencial e industrial.

Condições locais: Localizada em área verde, fica a uns 4 metros da via mais próxima, de movimento médio. Há indústrias no bairro.

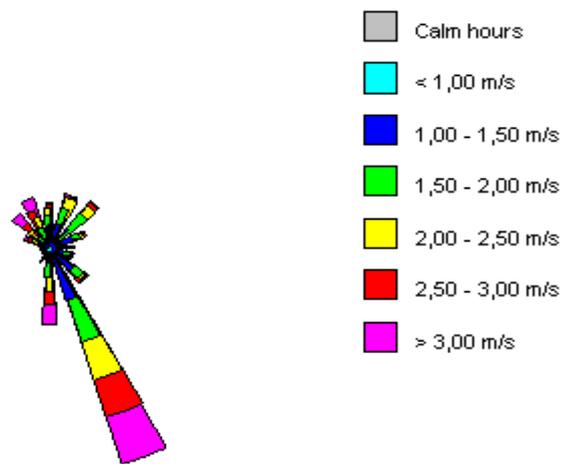
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Indústrias e veículos(principalmente leves).

Principal escala de representatividade: Média.

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, HCNM.

Parâmetros meteorológicos medidos: UR, T, VV, DV, P.

Rosa de vento:



### **Estação Congonhas**

Endereço: Al. dos Tupiniquins, 1571 - Congonhas

Topografia da região: Razoavelmente plana.

Uso do solo: Comercial e residencial.

Condições locais: Localizada em um cruzamento, fica a cerca de 3 metros da Av. dos Bandeirantes, via altamente movimentada.

Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos leves e pesados (caminhões e ônibus).

Principal escala de representatividade: Micro

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> (medido até 30/06/99)

Parâmetros meteorológicos medidos: Nenhum.

## Estação Lapa

Endereço: Unid. Depós. e Oficina AR-LA. Av. Emb. Macedo Soares, 7995 - Lapa.

Topografia da região: Plana.

Uso do solo: Comercial, residencial e industrial.

Condições locais: Localizada a aproximadamente 5 metros da Marginal Tietê. Está bem próxima também de indústrias.

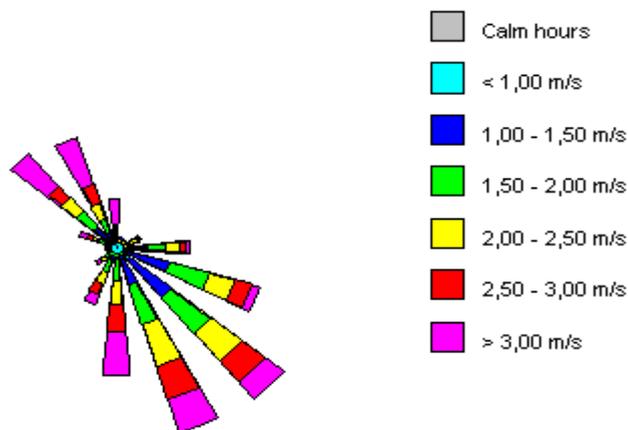
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos (leves e pesados) e indústrias.

Principal escala de representatividade: Micro.

Poluentes medidos: PI, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: VV, DV.

Rosa de vento:



## Estação Osasco

Endereço: Praça 31 de março, 104 - Osasco.

Topografia da região: Irregular.

Uso do solo: Residencial, industrial e comercial.

Condições locais: Fica a uns 5 metros de via com trânsito médio, porém também próxima da Av. dos Autonomistas, de grande movimento.

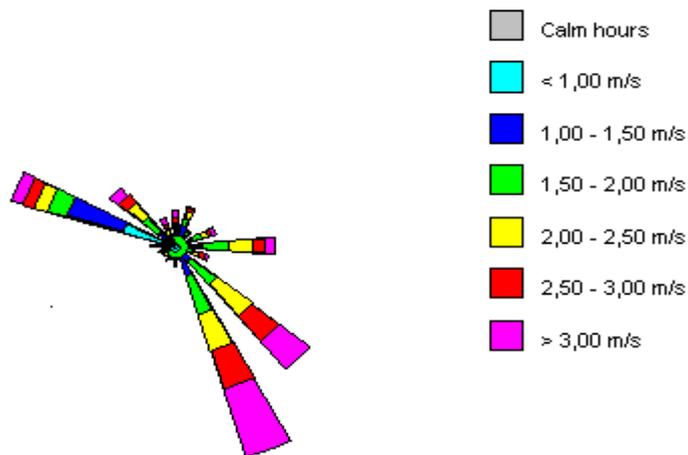
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos (todos os tipos) e indústrias.

Principal escala de representatividade: Micro.

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: VV, DV.

Rosa de vento:



### Estação São Miguel Paulista

Endereço: Rua Diego Calado, 166 - S. Miguel Paulista.

Topografia da região: Irregular.

Uso do solo: Residencial, industrial e comercial.

Condições locais: Localizada longe de vias de tráfego intenso, cercada parcialmente por árvores. Não há indústrias muito próximas.

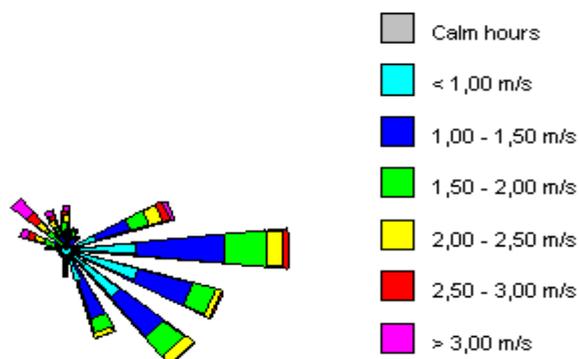
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Indústrias e veículos.

Principal escala de representatividade: Bairro.

Poluentes medidos: PI, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: UR, T, VV, DV.

Rosa de vento:



### **Estação Mauá**

Endereço: Rua Vitorino Del'Antonia,150 - Mauá.

Topografia da região: Irregular.

Uso do solo: Residencial, industrial e comercial.

Condições locais: Localizada a cerca de 10 metros de via de pouco movimento que passa a cerca de 10 metros abaixo. Há indústrias na região.

Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Indústrias.

Principal escala de representatividade: Bairro

Poluentes medidos: PI, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: Nenhum.

De forma resumida, pode-se considerar com forte influência dos veículos que circulam próximos (escala de representatividade Micro e Média), as estações Congonhas, Parque D. Pedro II, Lapa, Osasco e São Caetano do Sul, que neste estudo consideraremos como estações veiculares. Em condições distintas, ou seja, relativamente distantes de fontes veiculares diretas (escala de representatividade Bairro e Urbana) estão Ibirapuera, Mauá, São Miguel Paulista e Moóca.

Assim, nas estações veiculares, espera-se uma maior concentração de poluentes que são emitidos diretamente pelos veículos, tais como o CO e o NO<sub>x</sub>, e concentrações mais baixas de O<sub>3</sub> devido ao seu consumo pelo NO, conforme mecanismo discutido no capítulo anterior. De forma inversa, nas estações distantes das vias de tráfego, espera-se concentrações mais baixas de CO e NO e maiores condições para a ocorrência de picos de O<sub>3</sub>.

#### **4. INFLUÊNCIAS METEOROLÓGICAS NA FORMAÇÃO DO OZÔNIO NA RMSP**

As concentrações de ozônio, assim como a dos demais poluentes atmosféricos, são altamente influenciadas pelas condições meteorológicas, que determinam as concentrações do ozônio tanto para um determinado episódio (condição meteorológica do dia), quanto para as concentrações médias associadas às variações meteorológicas sazonais (condições climáticas). Assim, a identificação dos principais fatores que afetam o tempo e o clima na RMSP são essenciais para o entendimento do comportamento do ozônio.

Em termos de clima, a RMSP pode ser dividida em duas estações predominantes: uma estação chuvosa que compreende, normalmente, o período de outubro a abril, e outra mais seca que vai de maio a setembro. A estação chuvosa está centrada nos meses de verão, onde ocorre uma elevação das temperaturas médias e uma maior ventilação. Neste período, o aquecimento continental, associado à convecção tropical, sistemas extratropicais (frentes frias) e áreas de instabilidade continental, favorecem o aumento da nebulosidade e da precipitação.

Na estação seca o clima é determinado pela presença de anticiclones (sistemas de alta pressão) e pela passagem rápida de frentes frias provenientes do sul do continente, sendo esta estação caracterizada não só pela diminuição da precipitação, mas também pela queda das temperaturas e ocorrência de calmarias e períodos de grande estabilidade atmosférica, proporcionando com isso condições mais desfavoráveis à dispersão de poluentes na atmosfera. Outra característica do período seco é a baixa umidade relativa em alguns dias, que chega a atingir valores de 15%.

A literatura<sup>13</sup> mostra ainda que o desenvolvimento urbano acelerado da região a partir dos anos 50, ocasionou o processo de formação do efeito “ilha de calor”. Este maior aquecimento da área urbana em relação ao seu entorno provoca uma convergência do ar próximo à superfície sobre a área mais urbanizada.

O número de dias de ultrapassagem do Padrão Primário de Qualidade do Ar (PQAR) para ozônio, por mês, na RMSP de 1997 a 1999 é apresentado na Figura 3, onde se observa uma significativa redução do número de ultrapassagens nos meses mais frios. O período observado predominante para ocorrência de episódios foi desde o final do inverno até início do verão.

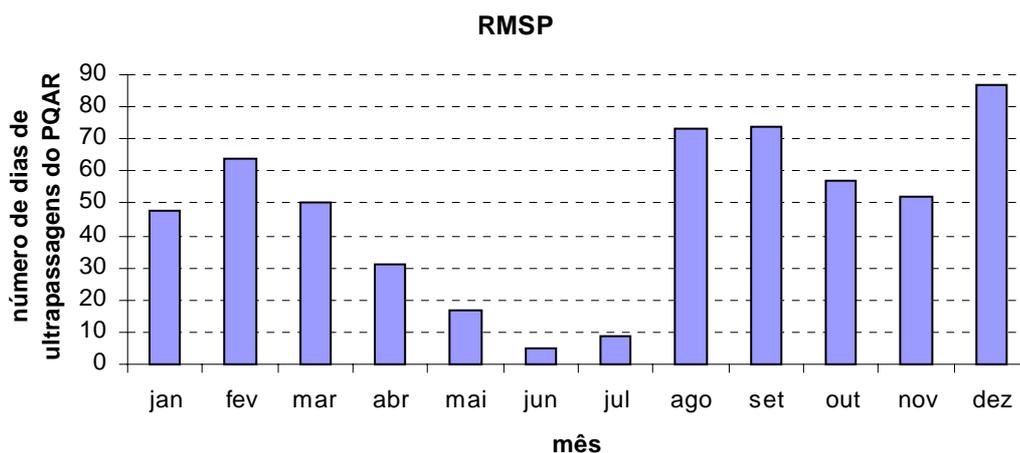


Figura 3 – Total de dias de ultrapassagem do Padrão de Qualidade do Ar (PQAR) de ozônio por mês na RMSP de jan/97 a dez/99.

As distribuições mensais para cada uma das estações na RMSP estão apresentadas no Anexo 1, onde se observa que a redução no período de inverno ocorreu em todas as estações que apresentaram um número significativo de episódios.

Conforme estudos<sup>14-15</sup>, o aumento da temperatura e da radiação solar incidente favorecem a formação do ozônio na atmosfera, o que explica a mínima ocorrência de episódios nos meses mais frios do ano. A Tabela 1 apresenta as médias, mínimas e máximas mensais, baseadas nas máximas diárias de temperatura no período de 1997 a 1999 na estação Parque D. Pedro II, onde observa-se que os valores mais baixo e mais alto ocorreram nos meses de junho e fevereiro, respectivamente.

Ressalta-se que nos anos de 1997<sup>16</sup> e 1999<sup>17</sup> ocorreram períodos prolongados de estiagem nos meses de agosto e setembro e conseqüentemente dias quentes e secos, que favoreceram a formação de ozônio.

Tabela 1 – Máximas diárias de Temperatura – Est. Parque D. Pedro II - 1997 a 1999

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<b>Média</b>	28,7	29,1	27,8	25,9	22,7	21,2	22,7	24,8	24,9	24,3	25,9	28,7
<b>Máxima</b>	35,0 (1999)	33,6 (1998)	33,6 (1998)	32,4 (1998)	29,7 (1997)	27,7 (1997)	28,7 (1998)	32,4 (1999)	35,1 (1997)	35,5 (1997)	35,5 (1997)	34,6 (1997)
<b>Mínima</b>	19,5 (1998)	24,2 (1998)	20,8 (1999)	19,9 (1998)	13,7 (1999)	14,9 (1999)	13,7 (1999)	10,0 (1999)	15,7 (1999)	13,1 (1999)	13,2 (1999)	21,0 (1998)

Em termos de radiação solar, na RMSP a máxima incidência no topo da atmosfera ocorre nos mês de janeiro e a mínima no mês de junho, numa redução em torno de 35%<sup>18</sup>.

No entanto, na comparação do número de episódios de ozônio por mês do ano, conforme Figura 3, observa-se que a maior frequência não ocorre necessariamente nos meses mais quentes<sup>19</sup> e com maior incidência de radiação solar no topo da atmosfera. Este fenômeno provavelmente está associado ao aumento da nebulosidade que ocorre nos meses mais quentes, o que reduz a quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície, e conseqüentemente, diminui a formação do ozônio na baixa troposfera.

## 5. PERFIL DE ULTRAPASSAGENS DO PADRÃO DE OZÔNIO

A Figura 4 mostra o número total de ultrapassagens do padrão de O<sub>3</sub> (82 ppb) observadas em cada uma das estações da RAQAr de 1996 a 1999. Pode-se observar que as estações Ibirapuera e Mauá foram as que apresentaram o maior número de ultrapassagens, porém um grande número de eventos foram também observados nas estações Moóca, São Caetano do Sul e São Miguel Paulista. As demais estações apresentaram um menor número de ultrapassagens em função da proximidade de fontes veiculares, uma vez que o NO emitido consome o ozônio formado, conforme reação (3) no item 2.

No Anexo 2 são apresentadas as máximas concentrações horárias de ozônio para as estações medidoras deste poluente na RMSP nos dias em que ocorreram episódios em pelo menos uma dessas estações.

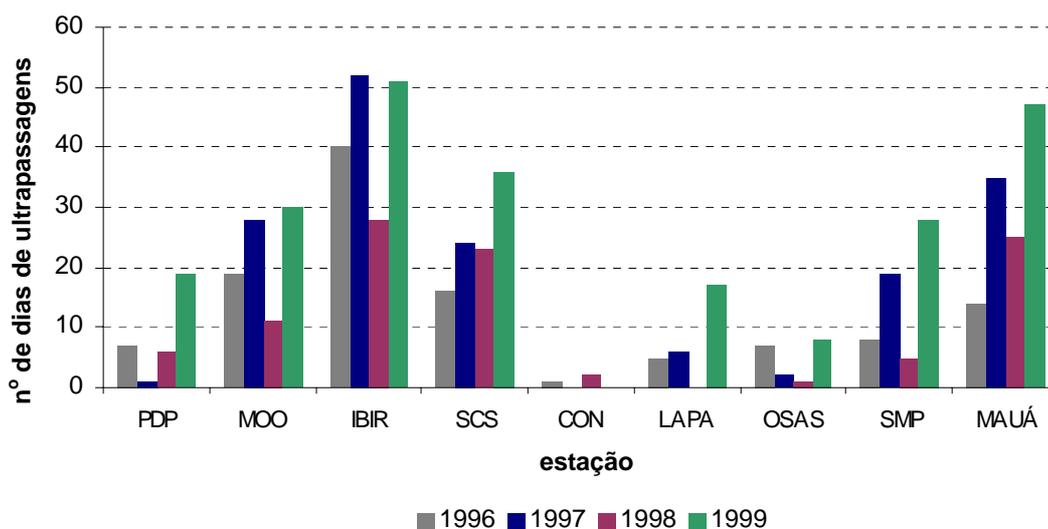


Figura 4 – Total de dias de ultrapassagens do PQAR de ozônio por estação na RMSP de mai/96 a dez/99.

Ainda na Figura 4 pode-se observar que 1997 e 1999 foram anos com maior número de ocorrências de episódios de alta concentração de O<sub>3</sub> em relação a 1998.

Devido a renovação da rede automática, não houve monitoramento nos primeiros meses de 1996, o que impede uma comparação mais precisa com os demais anos utilizados no estudo. Não houve monitoramento na estação Congonhas a partir de 1999, uma vez que, nos últimos 3 anos, não foram observadas ultrapassagens do padrão

de O<sub>3</sub>, devido a grande influência da via. Assim, o monitor de ozônio desta estação foi realocado para uma estação melhor localizada.

Na Figura 5 estão apresentadas as máximas diárias de 1 hora de ozônio para as estações Ibirapuera e Mauá para os anos de 1997, 1998 e 1999. Observa-se variações muito grandes nas máximas concentrações de ozônio de um dia para outro, não sendo observados muitos casos de ultrapassagens em dias consecutivos. Como as emissões na RMSP variam pouco de um dia para outro, essas grandes variações de concentração de ozônio devem ser causadas principalmente pela variação das condições meteorológicas favoráveis ou não à formação de O<sub>3</sub>.

Pode-se observar ainda, na Figura 5, que as tendências de aumento e/ou diminuição na concentração de O<sub>3</sub>, de maneira geral, são semelhantes nas duas estações, ou seja, quando há aumento e/ou diminuição da concentração de O<sub>3</sub> em uma das estações, o mesmo ocorre na outra. No entanto, do total de dias de episódios que ocorreram nessas estações, neste período, somente 21% dos casos ocorreram nas duas estações. Isto provavelmente ocorre devido à diferente localização geográfica dessas estações na RMSP, sendo assim influenciadas por diferentes condições de transporte. Enquanto a estação Ibirapuera fica localizada em um parque na região central da área urbana, a estação Mauá está localizada a sudeste da região central.

Na Figura 5, pode-se observar também a tendência sazonal já comentada no capítulo anterior, em que há uma menor ocorrência no período de inverno.

A Figura 6 mostra o horário em que ocorreram as máximas concentrações de O<sub>3</sub>, nas estações Mauá e Ibirapuera, nos dias em que houve ultrapassagem do padrão. Observa-se, nesta figura, que a maioria dos episódios ocorre entre 13 e 15 horas, com maior incidência de máximas concentrações às 14 horas. Nesta análise considerou-se sempre o horário oficial, que não inclui as mudanças relativas ao horário de verão.

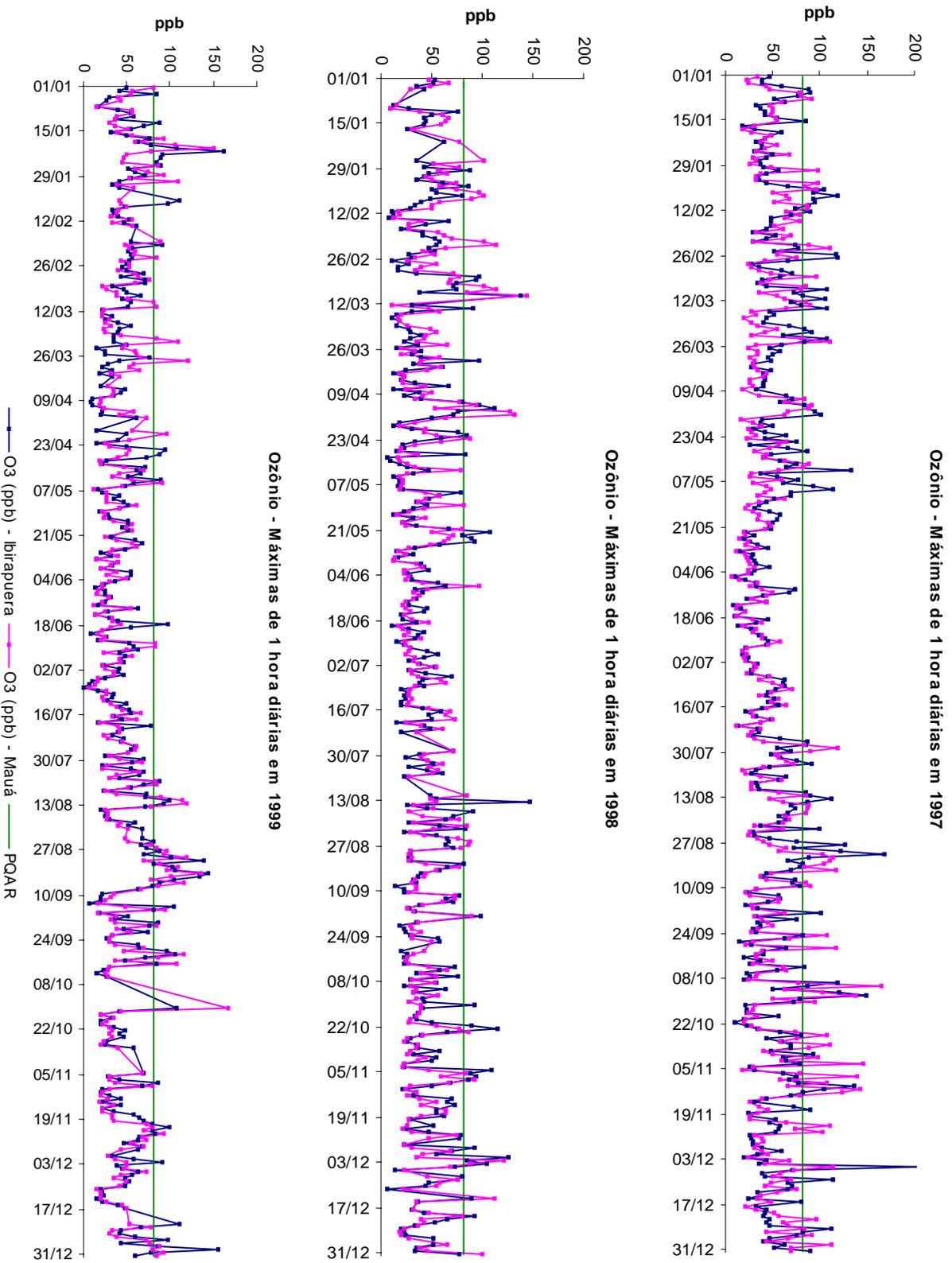


Figura 5 – Máximas diárias de 1 hora de ozônio (ppb) nas estações Ibirapuera e Mauá em 1997, 1998 e 1999

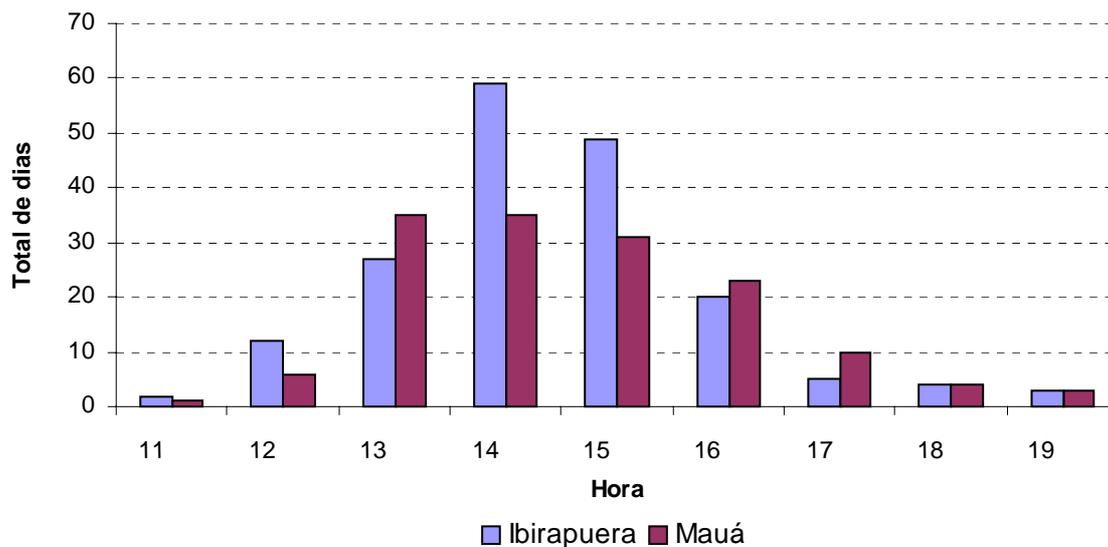


Figura 6 – Horário em que ocorreram as máximas concentrações de O<sub>3</sub> nos dias de ultrapassagem do padrão, nas estações Mauá e Ibirapuera, de mai/96 a dez/99.

O número de dias em função da duração em horas de ultrapassagem do padrão nas estações Mauá e Ibirapuera está apresentado na Figura 7. A duração dos episódios é curta, na maioria dos casos entre 1 e 2 horas, em ambas as estações, embora em Mauá tenham sido observados episódios com duração de até 7 a 8 horas de ultrapassagens consecutivas do padrão.

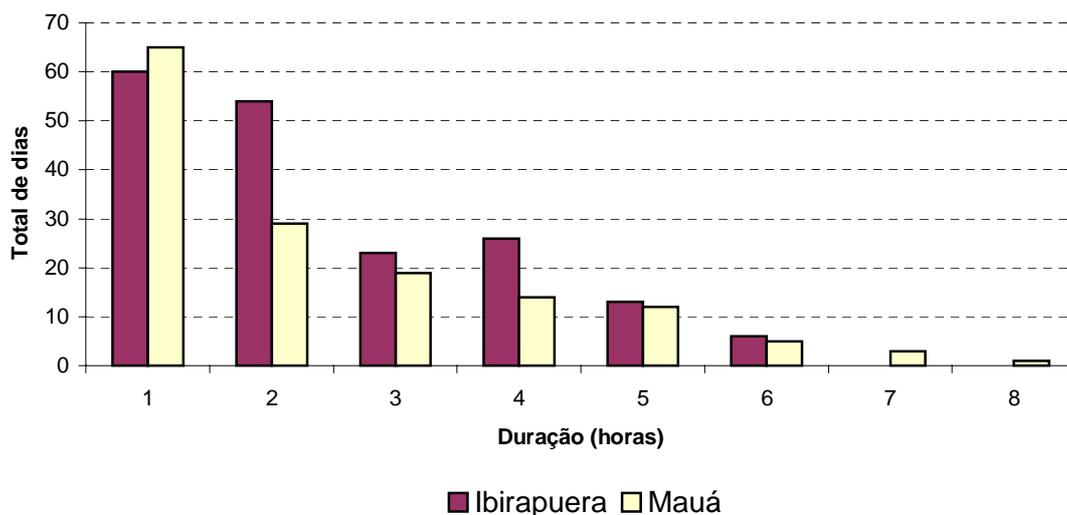


Figura 7 – Total de dias em função da duração em horas de ultrapassagem do padrão de ozônio (82 ppb), nas estações Ibirapuera e Mauá, de mai/96 a dez/99.

Com relação a distribuição dos episódios durante os dias da semana, pode-se observar, na análise da Figura 8, que não há diferenças significativas entre os dias úteis e finais de semana, ou seja, mesmo aos sábados e domingos, quando ocorre uma redução no tráfego urbano, e conseqüentemente na emissão de precursores, observou-se ainda um grande número de eventos.

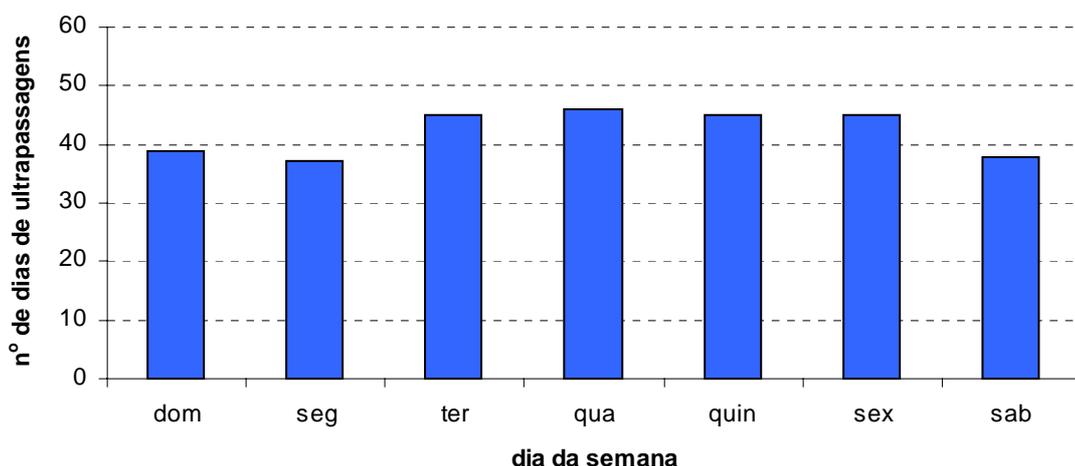


Figura 8 – Total de ultrapassagens do padrão de ozônio (82 ppb) por dia da semana, na RMSP de mai/96 a dez/99.

O grande número de episódios nos dias de menor tráfego não é um fenômeno de simples interpretação pois envolve uma série de variáveis, porém fatores importantes devem ser considerados. A presença de precursores, mesmo nos finais de semana, talvez seja suficiente para a formação do  $O_3$ , e sua formação está sendo determinada principalmente pelas condições meteorológicas reinantes. Outro fator que deve ser considerado é que a redução do tráfego próximo à determinadas estações medidoras, e conseqüentemente dos níveis de NO, permite uma maior ocorrência de episódios nestas estações nos sábados, domingos e feriados.

A Figura 9 mostra a distribuição por dia da semana das máximas diárias de  $O_3$  para as estações (a) Parque D. Pedro II e (b) Ibirapuera. Pode-se observar que no Parque D. Pedro II o menor número de dias de qualidade boa ocorre justamente aos domingos, seguido pelos sábados. Já na estação Ibirapuera, observa-se uma distribuição mais uniforme entre os dias com índice de qualidade boa e regular durante a semana. Para esta análise considerou-se todos os dias, independentemente dos feriados.

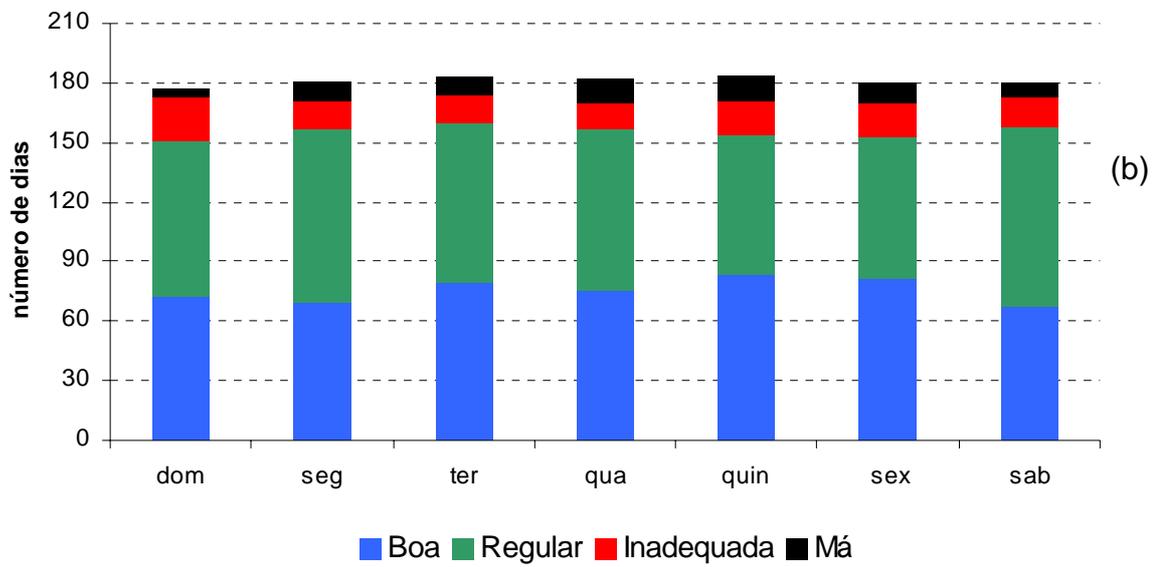
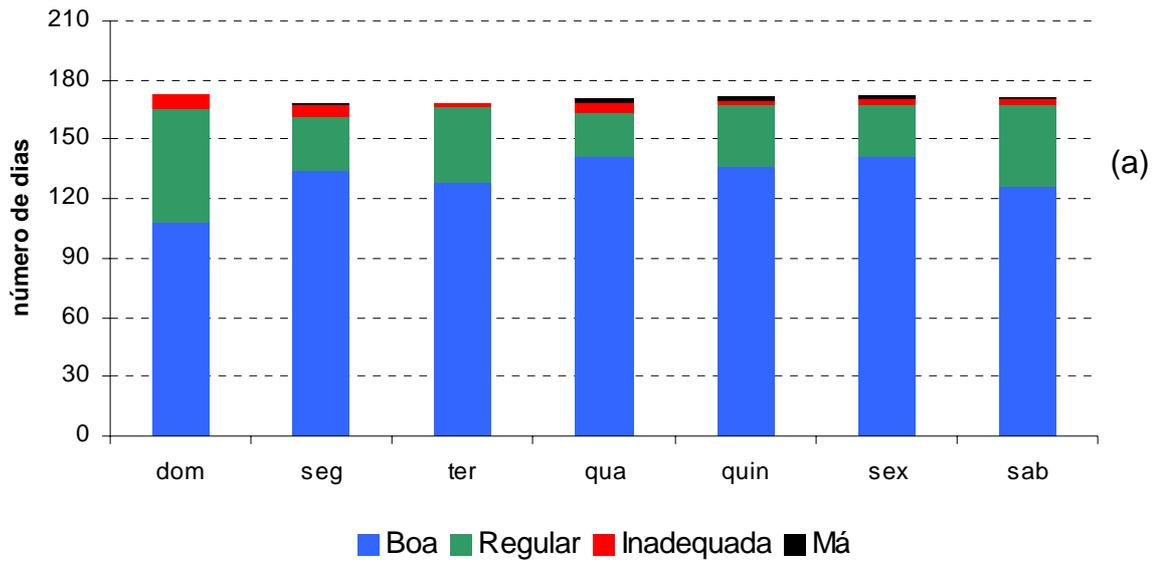


Figura 9 – Distribuição do Índice de Qualidade do Ar por Ozônio na estação (a) Parque D. Pedro II e (b) Ibirapuera por dia da semana de mai/96 a dez/99.

## 6. ASPECTOS METEOROLÓGICOS

### 6.1 Direção e Velocidade do Vento

A ocorrência de altas concentrações de  $O_3$  está relacionada com as trajetórias das massas de ar que circulam sobre uma região e que transportam tanto os precursores como o ozônio formado na atmosfera através das reações fotoquímicas. Desse modo, é importante conhecer a direção e a velocidade do vento que predominam sobre a região.

Na Figura 10 é mostrado o mapa da RMSP com as rosas de vento em cada uma das 12 estações medidoras de direção e velocidade do vento da RAQAr para o período de 1996 a 1998. Pode-se observar que a maior frequência do vento ocorre de direção sul/sudeste, seguida pela direção noroeste. Na estação Mauá não há medidor de vento.

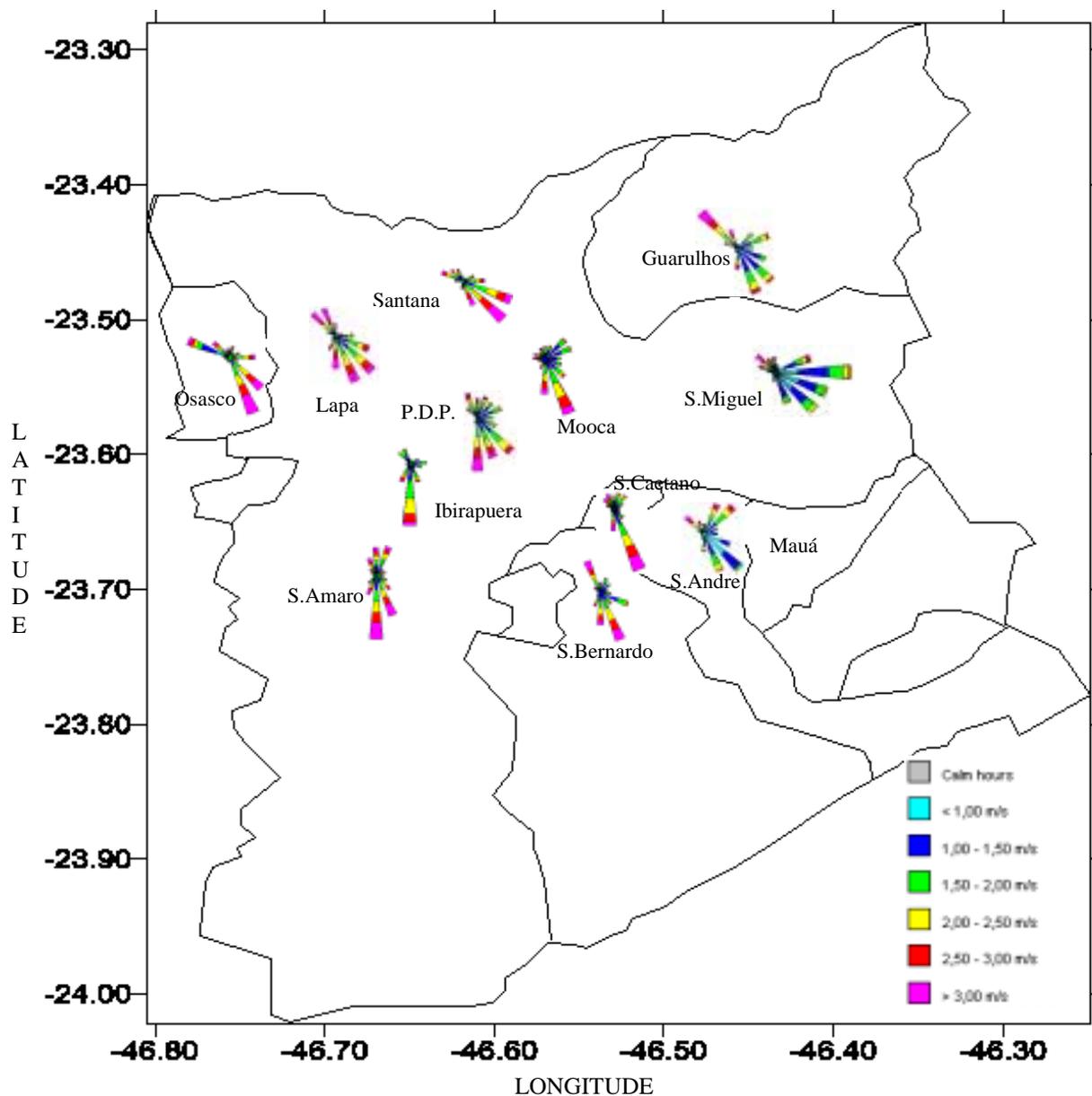


Figura 10 - Rosas de vento para o período de 1996 a 1998.

Para este período de estudo, foram utilizados os dados horários de direção e velocidade do vento, excluindo-se as horas de calmaria e ventos variáveis. É considerada calmaria, quando a velocidade do vento é igual ou menor do que 0,44m/s; ventos variáveis, quando o vento é muito fraco, menor do que 1m/s, e não há predominância de direção em 70% das amostras medidas num intervalo de tempo de 1 hora. Geralmente, os ventos que auxiliam a dispersão ou transporte de poluentes atmosféricos na RMSP possuem velocidade acima de 1,5m/s, e quando maior que 2m/s são considerados de moderados a fortes. Os ventos de direção noroeste, normalmente, possuem rajadas acima de 3m/s.

A predominância de ventos de sudeste sobre a RMSP está associada à circulação de massas de ar de origem marítima, que é, na maioria dos casos, provocada por um anticiclone polar marítimo (sistema de alta pressão), após a passagem de um sistema frontal. Os ventos de sudeste também estão associados à atuação da brisa marítima durante o dia, devido a diferença de temperatura entre as superfícies terrestre e marítima, ocasionada pelo aquecimento continental, em função da incidência de radiação solar.

Por outro lado, os ventos de direção noroeste precedem a entrada de sistemas frontais que atingem a RMSP, oriundos do sul do continente, e que estão sempre associados a sistemas de baixa pressão, em que os ventos seguem um padrão de giro no sentido anti-horário, por exemplo, quando um sistema de baixa pressão se aproxima da região, a direção do vento tende a girar para norte, passando em seguida para noroeste e oeste; após a passagem do sistema frontal, a direção do vento passa a ser de sul-sudoeste.

Na Figura 11 são mostradas as rosas de vento para os dias de episódios de ozônio nas estações Parque D. Pedro II, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul e São Miguel Paulista, no período de 1996 a 1998. Foram utilizados dados horários de direção e velocidade do vento no período das 11 às 15 horas em cada estação, excluindo-se as horas de calmaria e os ventos variáveis. Este período, das 11 às 15 horas, foi selecionado por ser mais propício à formação de O<sub>3</sub>, quando há maior incidência de radiação solar e temperaturas mais altas, que favorecem o aumento da turbulência em superfície, facilitando também o transporte e/ou diluição dos poluentes na atmosfera.



Figura 11 - Rosas de Vento para os dias de episódios em cada estação no período de 1996 a 1998.

Observa-se que nas estações Parque D. Pedro II e Moóca os ventos são predominantemente de direção sul/sul-sudeste. Na estação São Caetano do Sul predominam ventos mais intensos de sul/sudeste e ventos mais fracos de norte/nordeste. Na maioria dos episódios ocorridos nesta estação, observou-se que os ventos mais fracos ocorrem às 11 horas (valor médio 1,5 m/s) enquanto que os ventos mais intensos de sul/sudeste ocorrem às 15 horas (valor médio 2,5 m/s), possivelmente devido a atuação da brisa marítima. No Ibirapuera há predominância do vento de sul/sudoeste e muitas horas de calmaria. Na estação São Miguel Paulista os ventos são fracos de direção leste.

Na Figura 12 são mostradas as rosas de vento, em cada estação, nos dias de episódios na estação Ibirapuera, no período das 11 às 15 horas. Observa-se que a circulação dos ventos predominantes sobre a RMSP apresenta uma certa convergência para a região central do Município de São Paulo.

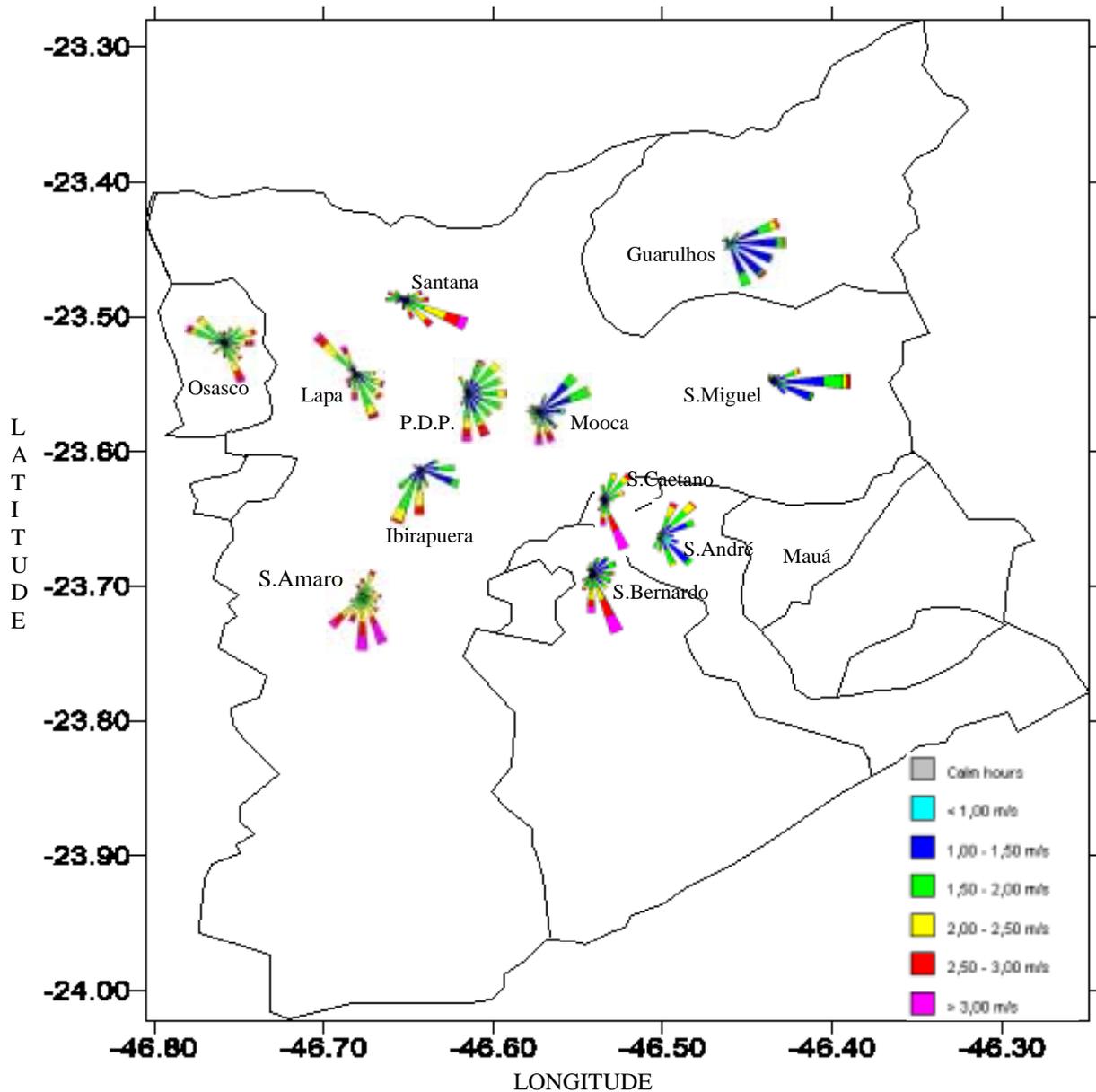


Figura 12 - Rosas de vento nos dias de episódios na estação Ibirapuera no período de 1996 a 1998.

Na Figura 13 são mostradas as rosas de vento de cada estação, das 11 às 15 horas, nos dias de episódios na estação Mauá no período de 1996 a 1998. Observa-se que há uma predominância de ventos de direção norte, variando entre NE e NW. É observado também que a maior intensidade da velocidade do vento ocorre na direção NW. Esta direção de vento, geralmente, precede a entrada de sistemas de baixa pressão (frentes frias) sobre a região, como comentado anteriormente. A aproximação de sistemas frontais para a região, geralmente, provoca o aumento da temperatura do ar em superfície, devido ao transporte horizontal do ar quente continental pelos ventos de direção de N/NW. Este aquecimento favorece a formação de ozônio sobre a RMSP.

Ressalta-se que dos 255 dias de episódios nas estações Mauá e/ou Ibirapuera no período de 1996 a 1999 em apenas 21% dos casos ocorreram episódios nas duas estações no mesmo dia.

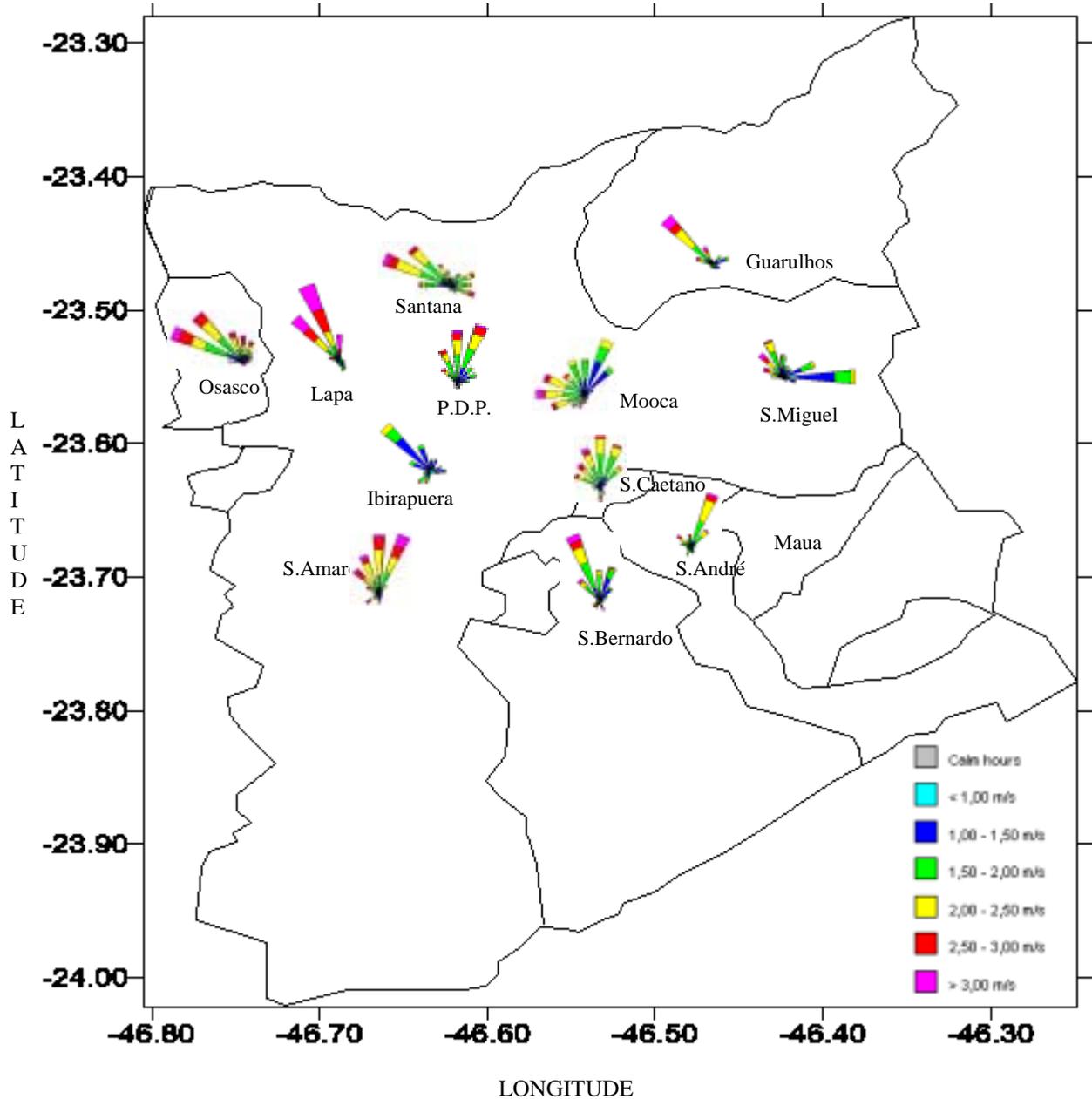


Figura 13- Rosas de vento nos dias de episódios na estação Mauá no período de 1996 a 1998.

## 6.2 Temperatura e Umidade Relativa

A temperatura ambiente é um fator que influencia na reação fotoquímica de formação do ozônio na atmosfera. Na Figura 14 estão apresentados os gráficos de dispersão da máxima concentração de O<sub>3</sub> em função da máxima temperatura<sup>4</sup> no período de 1996 a 1999, nas estações Parque D. Pedro II , Ibirapuera, São Caetano do Sul e Mauá. Os valores de temperatura são apresentados em graus Celsius e as concentrações de O<sub>3</sub> em ppb. A linha vermelha significa o valor do Padrão de Qualidade do Ar - PQAr para o ozônio (82 ppb).

Ressalta-se que, como na estação Mauá não há medidor de temperatura nem de umidade relativa, foram utilizados os dados da estação São Caetano do Sul, por ser a estação mais próxima.

Observa-se que a maioria dos episódios de ozônio ocorreram na faixa de temperatura máxima acima de 25°C, com exceção de Mauá, que ocorreram em temperaturas mais altas, acima de 28°C.

Na estação Parque D. Pedro II, o aumento da temperatura não reflete no aumento das concentrações de ozônio, o que pode ser explicado por ser esta uma estação de via, onde o ozônio formado é rapidamente consumido.

Nota-se que, apesar de ocorrerem dias com altas temperaturas não há, necessariamente, a ocorrência de altas concentrações de ozônio, uma vez que também outros fatores meteorológicos influenciam no processo das reações fotoquímicas.

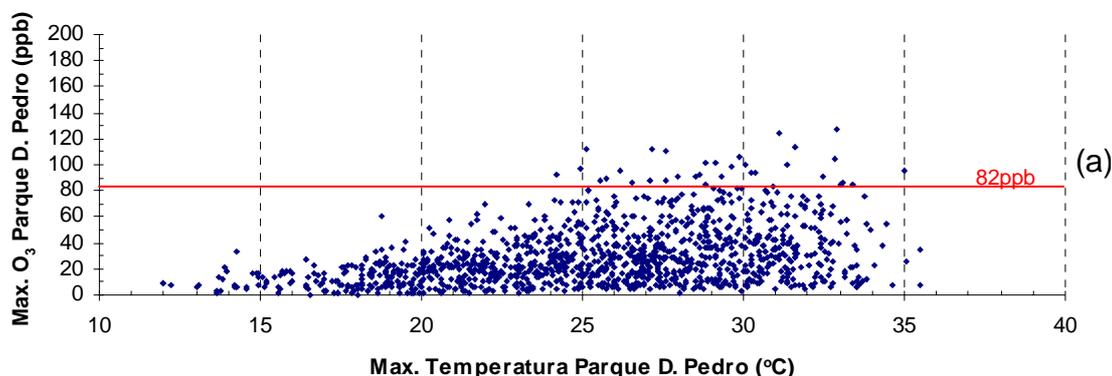


Figura 14 - Dispersão de Máximos de O<sub>3</sub> (ppb) e Máximas de Temperatura (°C), nas estações: (a) Parque D. Pedro II , (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul, (d) Mauá. (continua)

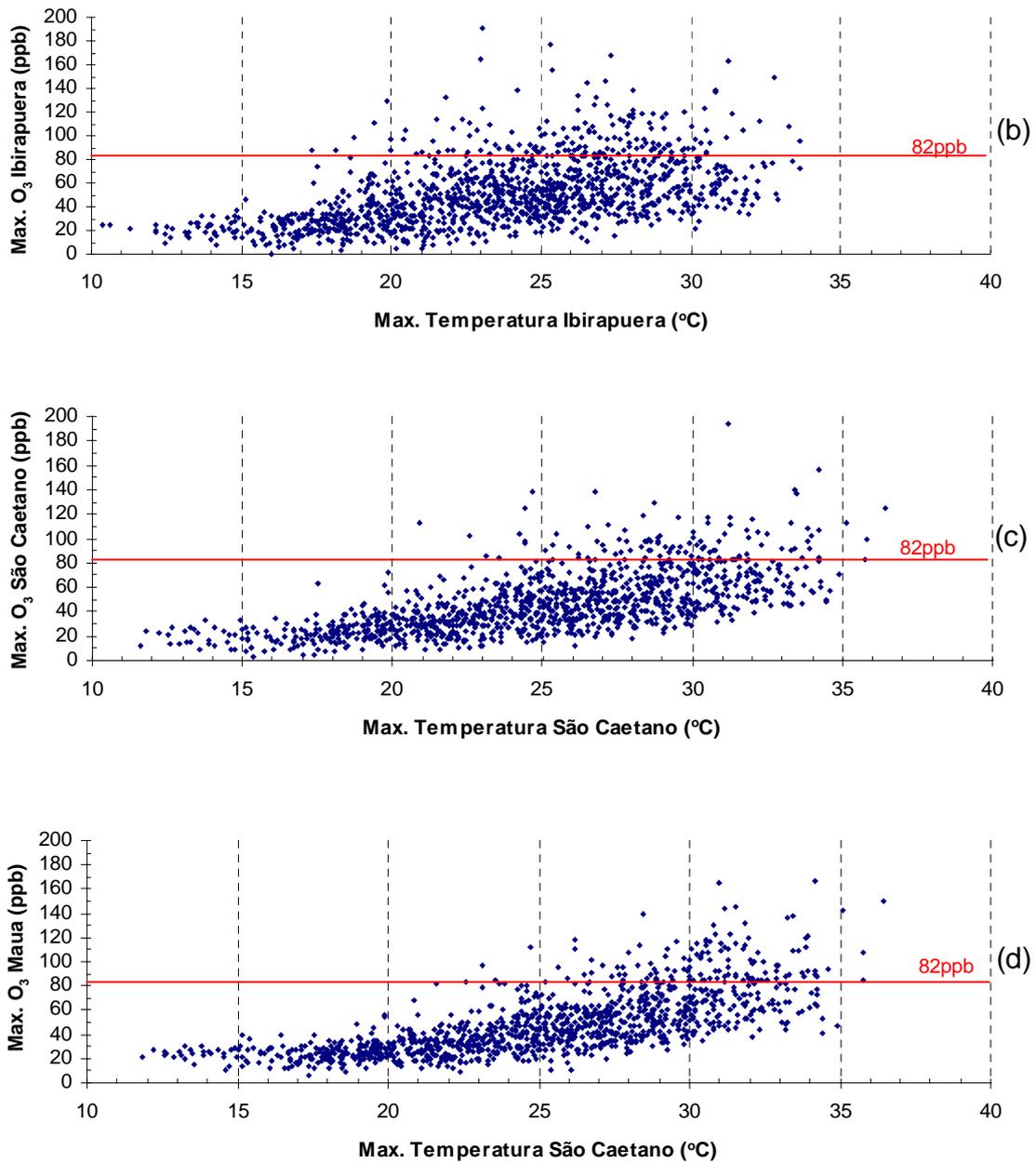


Figura 14 - Conclusão.

Na Figura 15 são apresentados os gráficos de dispersão da máxima diária de concentração de ozônio em função da mínima diária de umidade relativa nas estações Ibirapuera e Mauá, no período de 1996 a 1999.

Observa-se que as ultrapassagens do padrão de O<sub>3</sub> ocorrem com a umidade relativa variando entre 20 a 60% no Ibirapuera e entre 15 e 50% em Mauá.

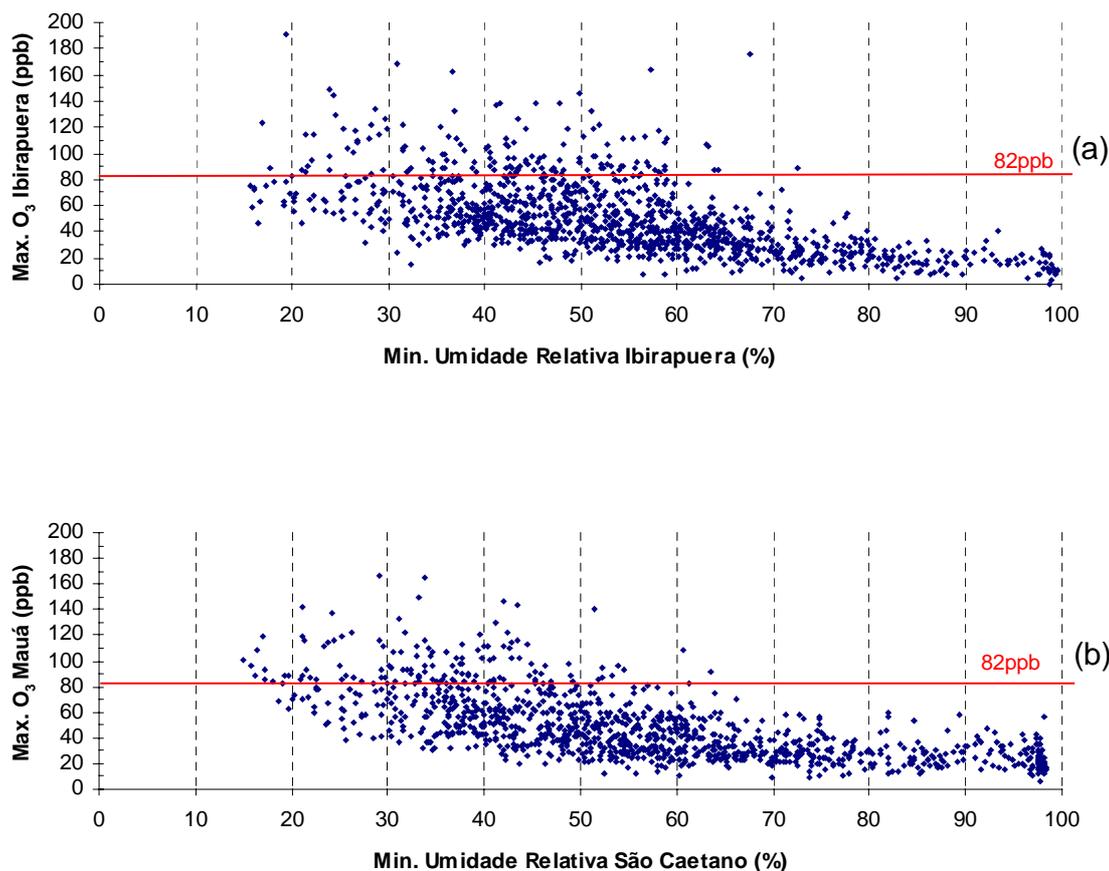


Figura 15 - Dispersão de Máximos Diários de O<sub>3</sub> (ppb) e Mínima Umidade Relativa Diária (%), nas estações: (a) Ibirapuera, (b) Mauá.

Na Figura 16 são mostrados os valores de máxima temperatura (°C) e mínima umidade relativa (%) do ar registrados nas estações Ibirapuera e Mauá, nos horários de máxima concentração de O<sub>3</sub>, em dias em que ocorreram a ultrapassagens do padrão, no período de 1996 a 1999. Nota-se que as temperaturas na estação Mauá são maiores do que na estação Ibirapuera, sendo observadas temperaturas médias de 27°C e 30°C, respectivamente, no Ibirapuera e em Mauá.

Pode-se ressaltar que a maioria dos episódios ocorrem em dias quentes, no entanto, principalmente para o Ibirapuera, ocorreram episódios em dias com temperaturas abaixo de 25°C.

Em Mauá, temperaturas mais altas e umidade relativa mais baixa ocorrem devido a predominância de ventos quentes e secos de direção noroeste, como já foi citado na análise das rosas de vento. Em Mauá a porcentagem de umidade relativa média é mais baixa, 35%, contra 42% no Ibirapuera. Além disso no Ibirapuera ocorreram episódios com umidade acima de 70%.

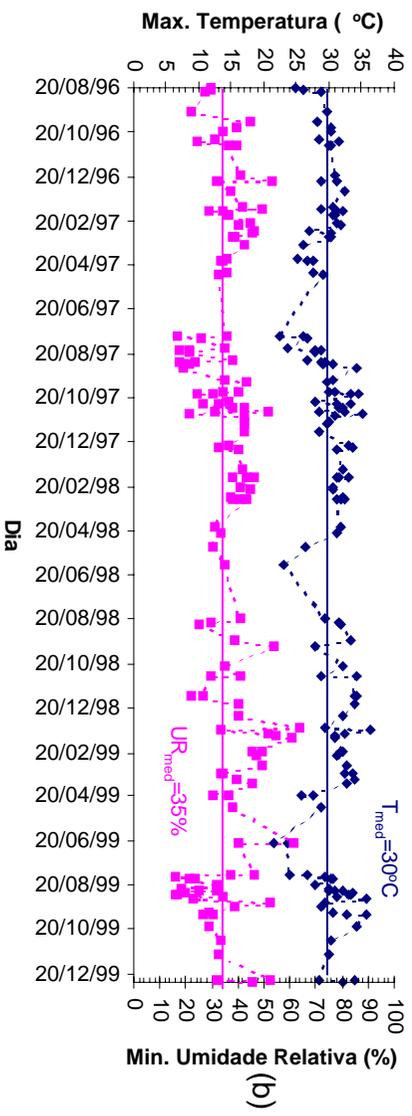
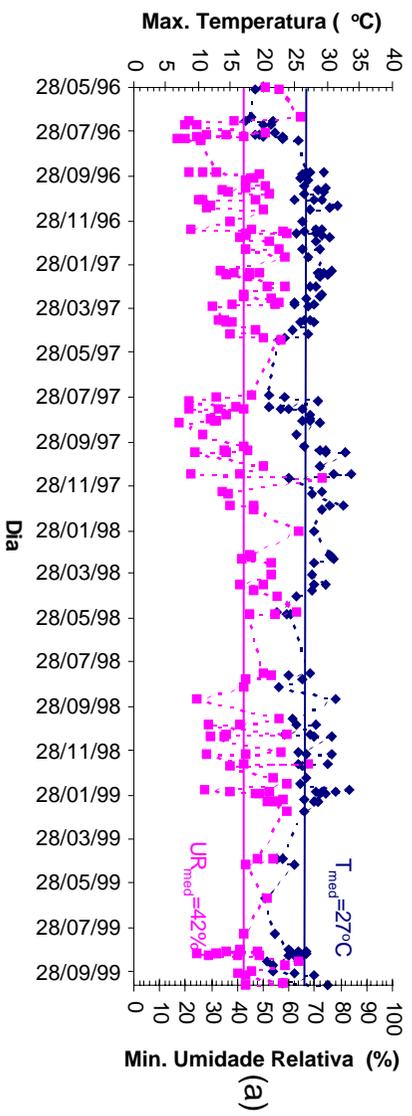


Figura 16 - Temperatura e Umidade Relativa do Ar nos dias de ultrapassagens do padrão nas estações : a) Ibirapuera e b) Mauá.

### 6.3 Radiação Global

A Figura 17 mostra os gráficos de dispersão da máxima concentração de  $O_3$  nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul e (d) Mauá em função da máxima radiação solar global na estação Ibirapuera no período de agosto de 1996 a dezembro de 1997. A linha vermelha indica o PQAr para o ozônio.

Observa-se que na estação Parque D. Pedro II, mesmo altos valores de radiação não refletem altas concentrações de ozônio, devido a proximidade da via. No entanto, nas demais estações, quando houve ultrapassagens do padrão, estas ocorreram em dias com valores de radiação global normalmente acima de  $700 \text{ W/m}^2$ .

Deve ser lembrado que a radiação solar global, geralmente, não é utilizada para os estudos de reações fotoquímicas, mas somente sua fração no espectro ultravioleta. Contudo para este período de estudo não há registros horários deste parâmetro que permita tal análise.

Deve ser também considerado que, numa análise geral, outras condições meteorológicas que influenciam no processo fotoquímico podem estar associadas, e devido a isso, em alguns dias com altas radiações globais não foram observadas altas concentrações de ozônio.

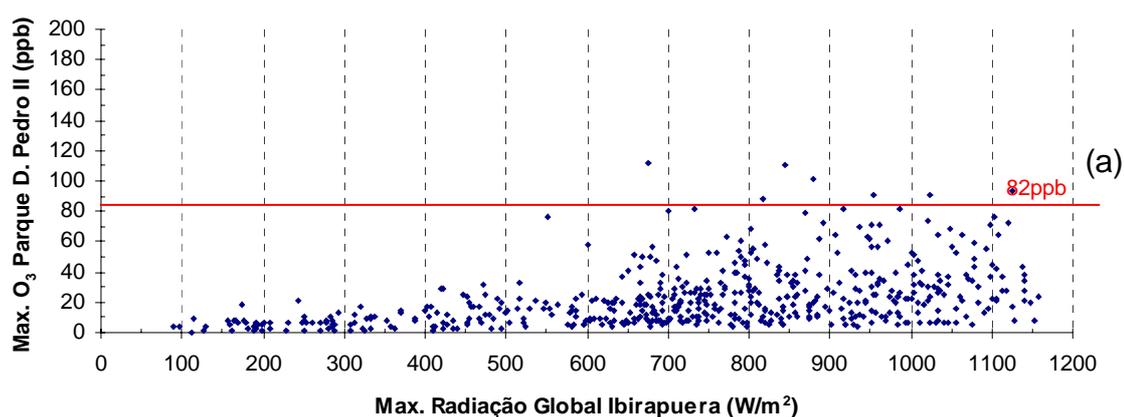


Figura 17 - Dispersão de Máxima de Radiação Global ( $\text{W/m}^2$ ) na estação Ibirapuera e Máxima concentração de  $O_3$  (ppb) nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul, (d) Mauá. (continua).

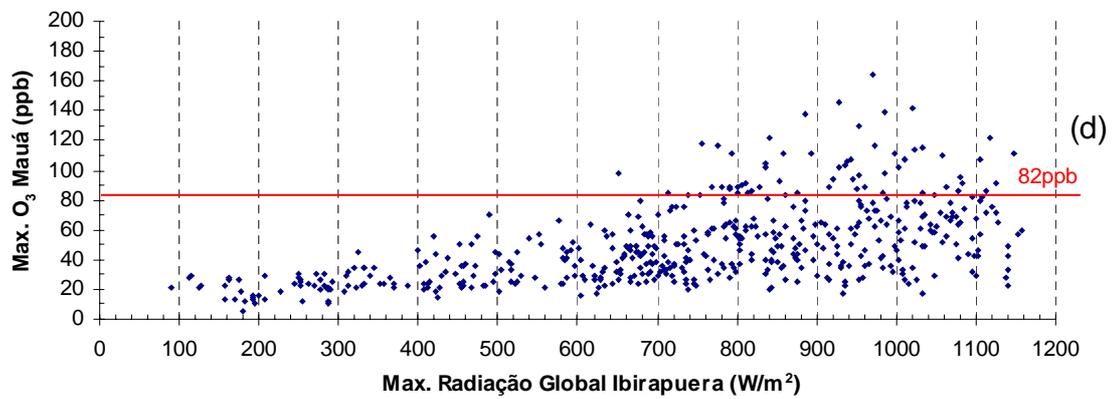
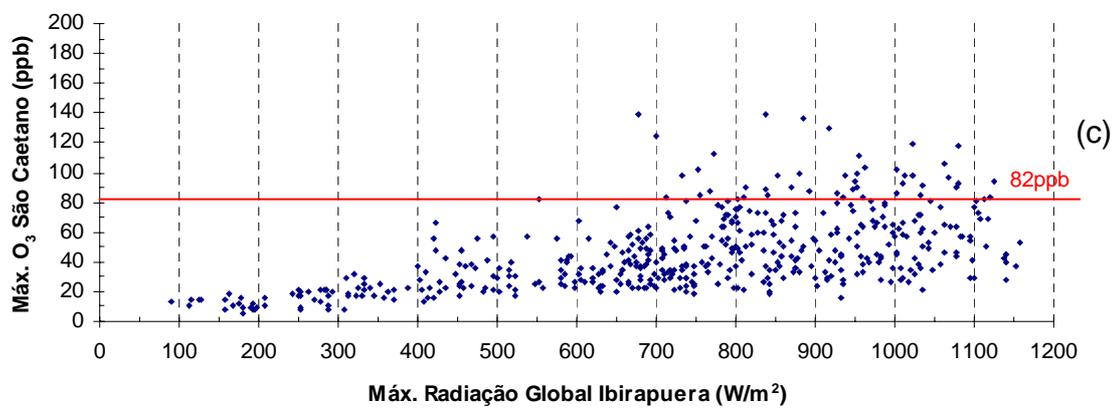
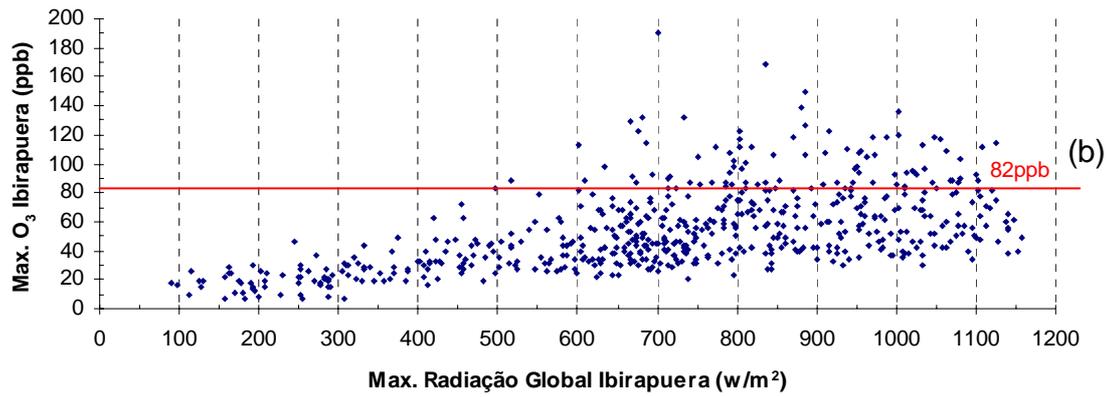


Figura 17 - Conclusão.

## 7. COMPORTAMENTO MÉDIO DO OZÔNIO

### 7.1. Óxidos de Nitrogênio

Para obter um perfil médio da variação da concentração das estações, no período de 24 horas, foram feitas curvas com as concentrações médias horárias de NO, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> nos dias com índice de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má para ozônio no período de maio de 1996 a dezembro de 1998.

Neste trabalho, as concentrações de ozônio, NO e NO<sub>2</sub> são apresentadas em ppb para melhor visualização da estequiometria das reações envolvidas no ciclo fotoquímico do ozônio.

Observa-se, nas Figuras 18 a 23, que o valor máximo de NO no período da manhã normalmente ocorre por volta das 8 horas coincidindo com o pico de tráfego, e que ainda no período da manhã a concentração de NO diminui, sendo acompanhada do aumento do NO<sub>2</sub>, cujo pico ocorre por volta das 10 horas. A máxima concentração de ozônio ocorre por volta das 14 horas. Perfil semelhante foi observado no sistema fechado apresentado na Figura 1.

Através da análise dos perfis médios dos poluentes de cada uma das estações observou-se um comportamento diferenciado devido à distância da via. Assim, para facilitar as análises, as estações foram separadas em dois grupos: veiculares e não veiculares.

Nas estações Congonhas (Fig. 18), Parque D. Pedro II (Fig. 19) e Osasco (Fig. 20), estações veiculares, foram poucos os dias em que a concentração de ozônio ultrapassou o padrão (82 ppb). Nestas estações o perfil médio de concentração de NO é elevado em função da forte emissão dos veículos que circulam próximos às mesmas. O ozônio formado próximo a estas estações é rapidamente consumido pelo NO, segundo a reação (3), por isso, a concentração de NO diminui no horário de formação do ozônio e a concentração de NO<sub>2</sub>, produto da reação (3), mantém-se alta, diferindo do perfil de concentração do modelo apresentado na Figura 1.

Nos dias em que o índice de qualidade do ar esteve regular para ozônio, tanto na estação Congonhas como Parque D. Pedro II (Figuras 18b e 19b), a concentração média de NO no período da manhã foi menor que nos dias de qualidade do ar boa (Figuras 18a e 19a). Desses dias de qualidade regular, cerca de 40% ocorreram nos sábados, domingos ou feriados, onde o trânsito diminui consideravelmente, diminuindo também a emissão de NO.

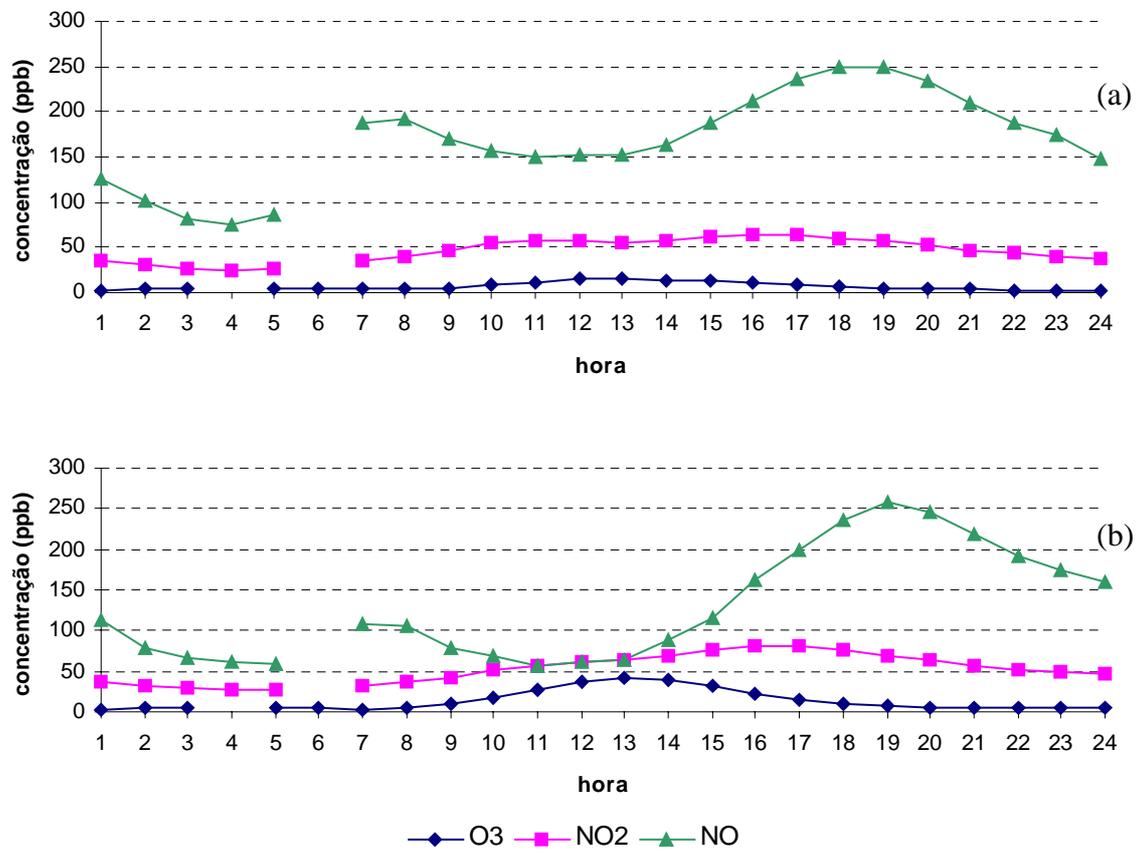


Figura 18 – Valores médios de concentração na estação Congonhas nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b) por ozônio.

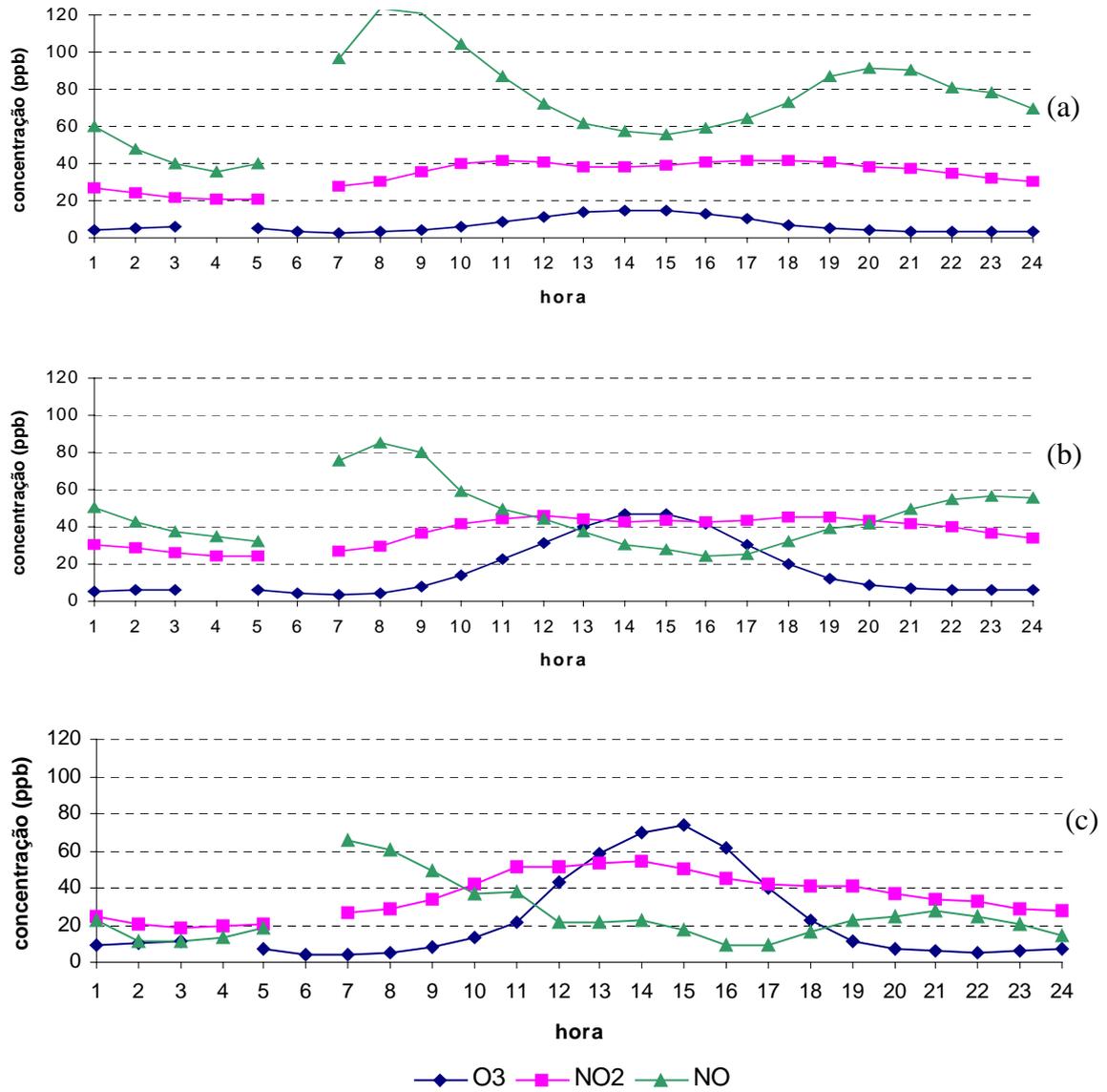


Figura 19 – Valores médios de concentração na estação Parque Dom Pedro II nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) por ozônio.

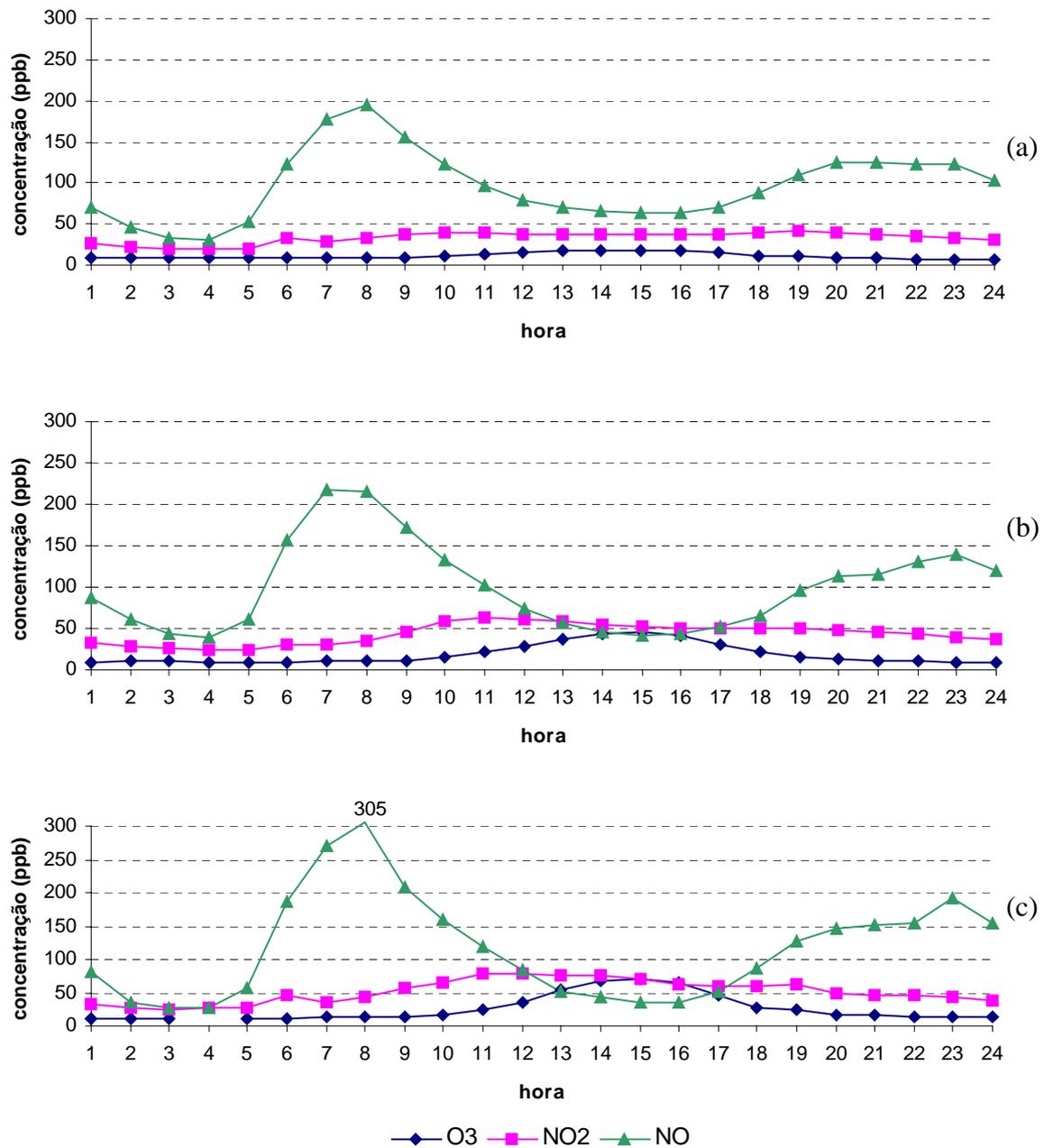


Figura 20 – Valores médios de concentração na estação Osasco nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) por ozônio.

Não estão apresentadas as concentrações médias obtidas no Parque D. Pedro II para os dias de qualidade inadequada e má e Congonhas e Osasco para os dias de qualidade má por ozônio uma vez que ocorreram número muito pequeno de episódios, conforme pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição do número de dias em função do índice de qualidade do ar para ozônio no período de 1996 a 1998.

Qualidade do Ar	Estações veiculares				Estações não veiculares	
	CONG	PDP	OSAS	SCS	IBI	MAUA
<b>Boa</b>	768 (85,1%)	724 (82,3%)	771 (83,3%)	423 (50,5%)	404 (42,6%)	410 (48,1%)
<b>Regular</b>	132 (14,6%)	138 (15,7%)	142 (15,3%)	335 (40,0%)	414 (43,6%)	341 (40,0%)
<b>Inadequada</b>	1 (0,1%)	16 (1,8%)	10 (1,1%)	59 (7,0%)	81 (8,5%)	61 (7,2%)
<b>Má</b>	2 (0,2%)	2 (0,2%)	3 (0,3%)	21 (2,5%)	50 (5,3%)	40 (4,7%)

Nas estações não veiculares, como Ibirapuera (Figura 22) e Mauá (Figura 23) foram muitos os dias em que a concentração de ozônio ultrapassou o padrão. Nestas estações a concentração média de NO no período da manhã é baixa quando comparada à estações veiculares. No horário de formação do ozônio a concentração de NO cai praticamente a zero, devido a reação (3), a concentração de NO<sub>2</sub> também diminui neste horário devido a fotólise do NO<sub>2</sub> (reação (1)).

Apesar de não possuírem fontes veiculares próximas, as estações Ibirapuera (Figura 22) e Mauá (Figura 23) apresentam características distintas com relação aos perfis médios dos poluentes. No caso do Ibirapuera, as concentrações de NO no período da manhã pouco variam em função da qualidade do ar por O<sub>3</sub>, enquanto que a concentração em Mauá aumenta nos dias em que o ozônio apresenta concentrações mais elevadas. Observa-se, ainda, que em Mauá a concentração de NO diminui rapidamente, sendo praticamente zero por volta das 10 horas, já no Ibirapuera isto acontece somente próximo do meio dia. No período noturno as concentrações de NO aumentam no Ibirapuera provavelmente devido ao aumento da estabilidade atmosférica, das horas de calmaria e do abaixamento da camada de mistura. Em Mauá este fato não é observado, talvez porque esta estação esteja localizada numa região mais afastada das emissões na área central.

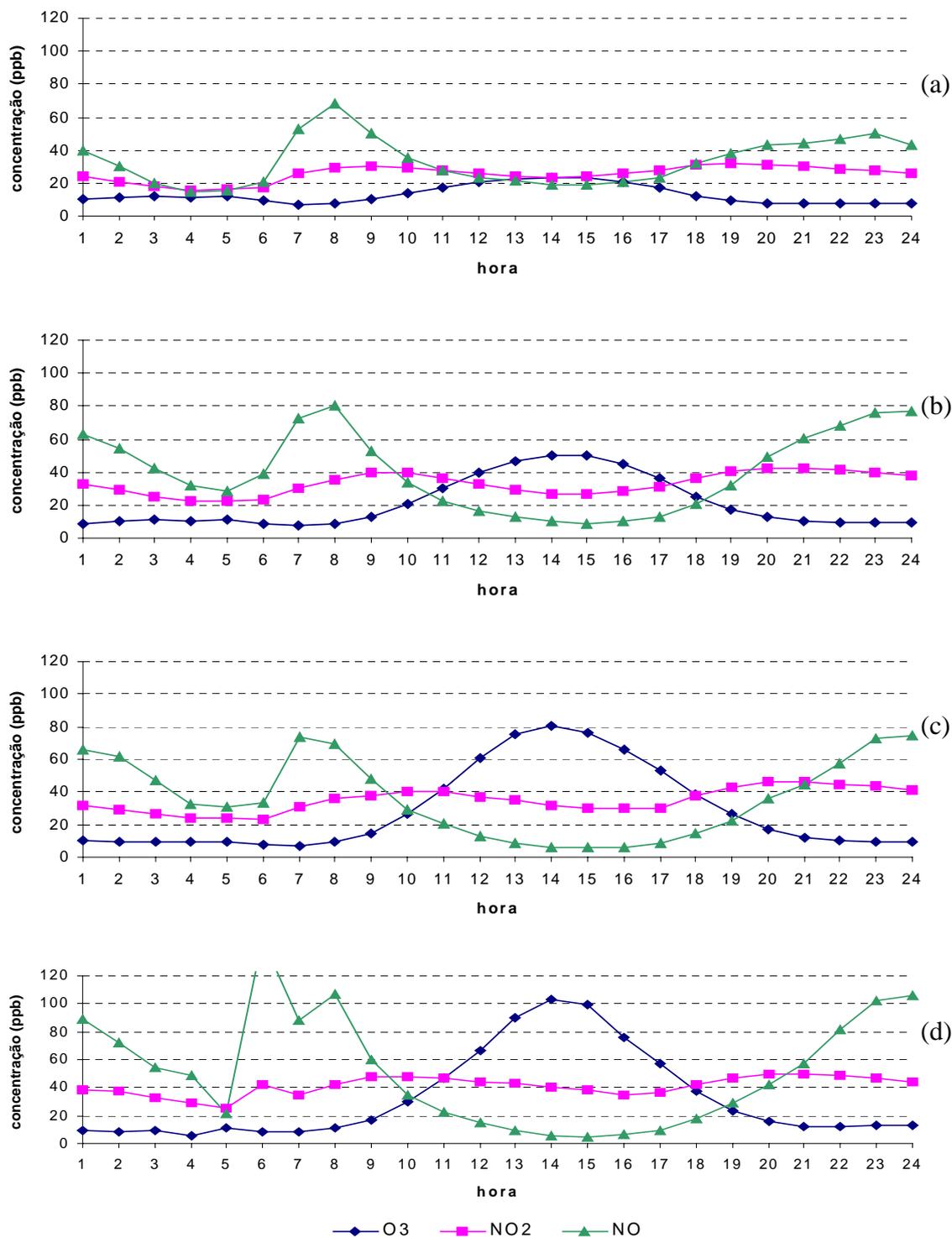


Figura 21 – Valores médios de concentração na estação São Caetano do Sul nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio.

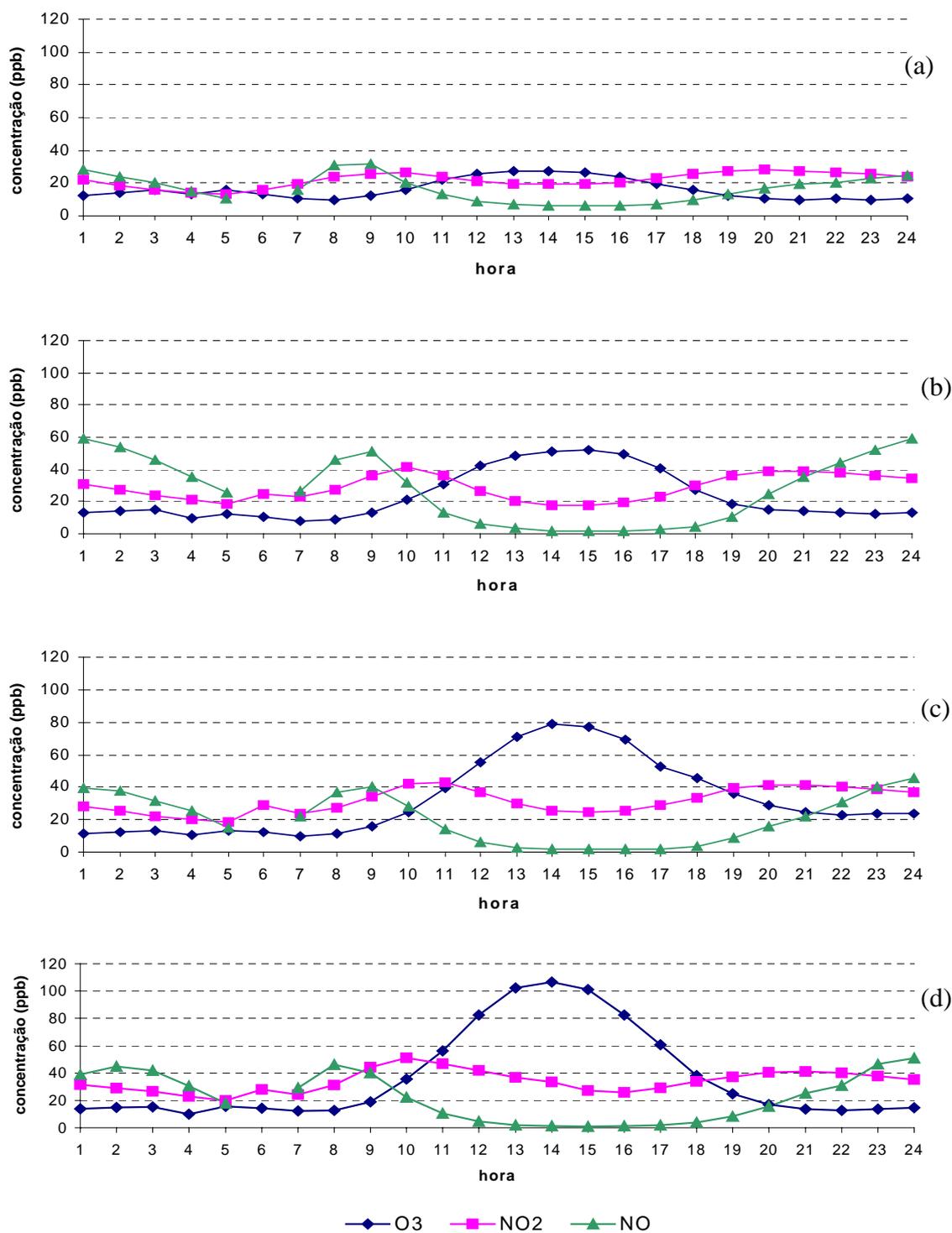


Figura 22 – Valores médios de concentração na estação Ibirapuera nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio.

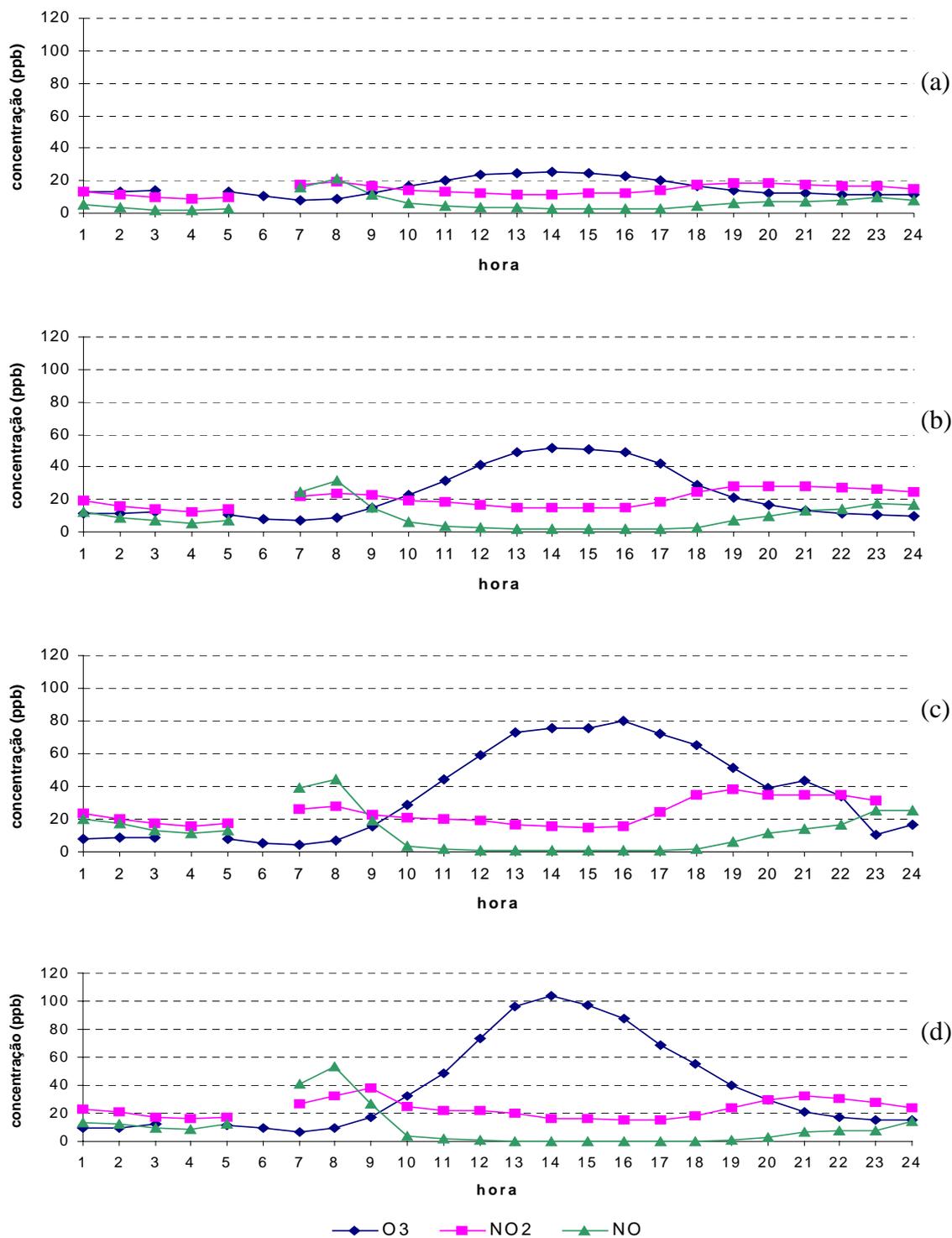


Figura 23 – Valores médios de concentração na estação Mauá nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio.

Com relação ao  $\text{NO}_2$ , observa-se uma pequena variação tanto em Mauá quanto no Ibirapuera, no período da manhã, em função da variação da qualidade do ar por ozônio.

Quanto ao ozônio formado nestas estações, o perfil médio apresenta características diferentes, principalmente nos dias de qualidade do ar inadequada e má. Observa-se, em Mauá, (Figuras 23 c, d) que as altas concentrações de ozônio prolongam-se até o final da tarde (horário das 17/18 horas) enquanto que no Ibirapuera (Figuras 22 c, d), neste mesmo horário, as concentrações de ozônio já são baixas. Como os episódios de Mauá ocorrem com ventos de noroeste (conforme ficou caracterizado no item 6), o ozônio formado na cidade de São Paulo por volta das 15 horas pode, neste caso, estar sendo transportado para Mauá fazendo com que as concentrações de ozônio mantenham-se altas até mais tarde.

Na estação São Caetano do Sul (Figura 21), como o tráfego próximo não é muito intenso, as concentrações médias de NO não são tão altas como nas demais estações veiculares, o que faz com que a ocorrência de episódios de ozônio seja mais freqüente nesta estação.

As estações Moóca e São Miguel Paulista apesar de serem estações não veiculares apresentaram um menor número de episódios de ozônio que Mauá e Ibirapuera. No caso de São Miguel Paulista os ventos são predominantemente de leste, fazendo com que essa estação sofra pouca influência dos poluentes emitidos na região central. Já a estação Moóca talvez sofra uma maior influência das vias ao redor que as demais estações não veiculares.

## 7.2 Razão $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$

Como a formação do ozônio depende da razão  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$ , uma vez que ambos estão envolvidos no ciclo fotoquímico do ozônio (reações (1) a (3)), foram feitas as curvas de  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  (ppb) em função da hora do dia para os dias de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má por ozônio. Para o cálculo das razões utilizou-se somente os horários das 8 às 12 horas por ser nesses horários que o NO é emitido e convertido a  $\text{NO}_2$ . Nas estações veiculares como Parque D. Pedro II, Congonhas e Osasco (Figura 24) não foram calculadas as razões para os dias com índice de qualidade má por ozônio, pois esses dias estão baseados em um número muito pequeno de episódios (Tabela 2).

Observa-se, na Figura 24, que as estações Congonhas, Parque D. Pedro II e Osasco apresentaram uma razão  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  baixa e praticamente constante no período

das 8 as 12h, o que indica que nessas estações o NO é alto devido a forte influência da emissão veicular, sendo o ozônio presente próximo à estação rapidamente consumido pelo NO, segundo reação (3). Altas concentrações de ozônio quase não são observadas nestas estações, conforme visto anteriormente.

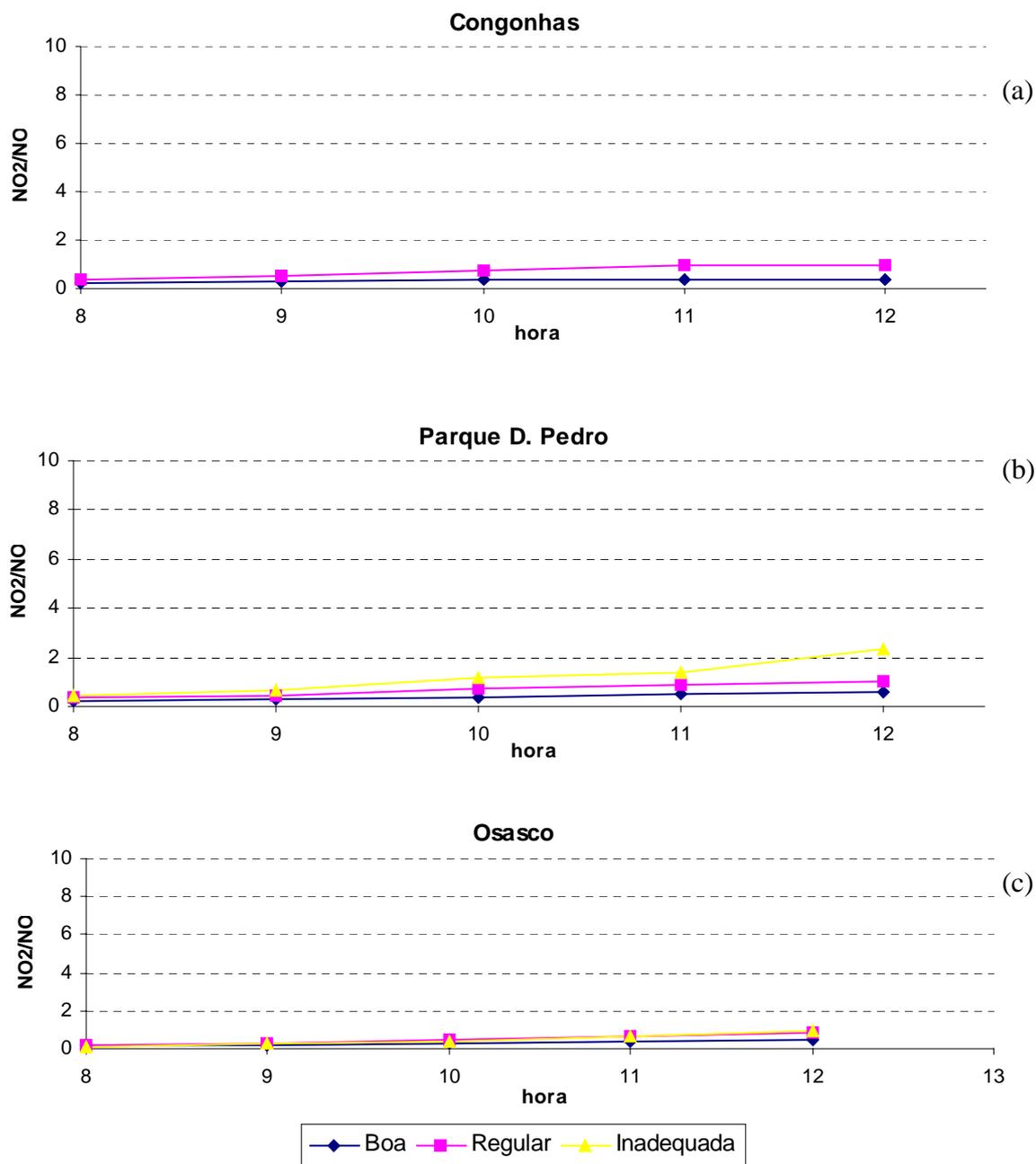


Figura 24 - Razão  $[NO_2]/[NO]$  em função da hora do dia para as estações Congonhas (a), Parque D. Pedro II (b) e Osasco (c), para os dias com índice de qualidade do ar boa, regular e inadequada.

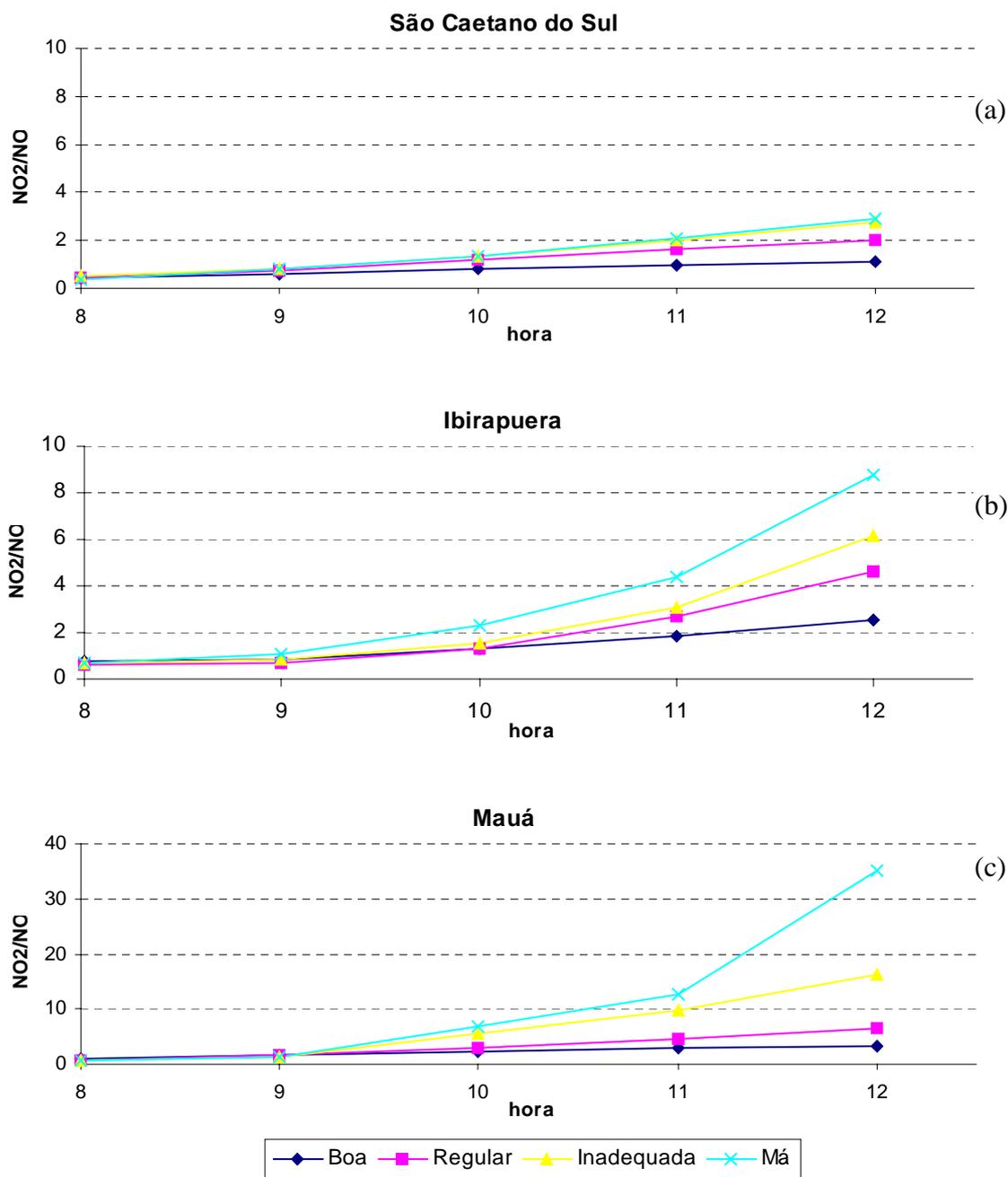


Figura 25 - Razão  $[NO_2]/[NO]$  em função da hora do dia para as estações São Caetano do Sul (a), Ibirapuera (b) e Mauá (c), para os dias com índice de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má.

No caso das estações Ibirapuera e Mauá (Figura 25 b e c), as razões  $[NO_2]/[NO]$  foram baixas no período das 8 às 10 horas, horário de maior emissão de NO, e aumentaram rapidamente depois desse horário. Observou-se um significativo aumento da razão com o índice de qualidade do ar sendo que nos dias de má a razão foi cerca de

9 no Ibirapuera e 35 em Mauá às 12 horas. Altas razões  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  indicam que estas estações apresentam condições favoráveis a não destruição do ozônio uma vez que não estão sujeitas a emissões veiculares próximas.

### 7.3 Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

Para análise dos COVs foram utilizados os dados de hidrocarbonetos não-metanos (HCNM) da RAQAr da CETESB, disponíveis apenas nas estações Parque D. Pedro II e S. Caetano do Sul a partir de 1999.

A Figura 26 apresenta as concentrações médias horárias de HCNM do Parque D. Pedro II e  $\text{O}_3$  do Ibirapuera, separados pelos índices de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má por ozônio. Observa-se que o valor máximo de HCNM no período da manhã ocorre por volta das 8 horas, coincidindo com o pico de tráfego. A medida que se inicia a formação de ozônio a concentração de HCNM diminui, devido à reação destes no ciclo fotoquímico, (eq. (4) a (6)). Observa-se ainda que as concentrações de HCNM aumentam gradualmente em função da qualidade do ar para ozônio, tanto no período diurno quanto no noturno. Esse aumento noturno deve-se às emissões do tráfego no final da tarde e noite (horário de pico) e, provavelmente, à estabilidade atmosférica, conforme descrito anteriormente (item 7.1).

A Figura 27 apresenta o gráfico de dispersão da máxima concentração de  $\text{O}_3$  do Ibirapuera em função do HCNM (médias das 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II, para o ano de 1999. Neste caso, não foi observada nenhuma correlação entre os parâmetros, o que é esperado devido à complexidade dos processos que envolvem a formação de  $\text{O}_3$ .

Já a Figura 28 apresenta o gráfico de dispersão de HCNM em função do  $\text{NO}_x$ , ambos médias das 7 às 9 horas, do Parque D. Pedro II, para o ano de 1999. Foi observada uma boa correlação entre os parâmetros, indicando que os HCNM, assim como o NO, devem estar sendo emitidos pelas mesmas fontes, sendo que neste local predominam as emissões veiculares.

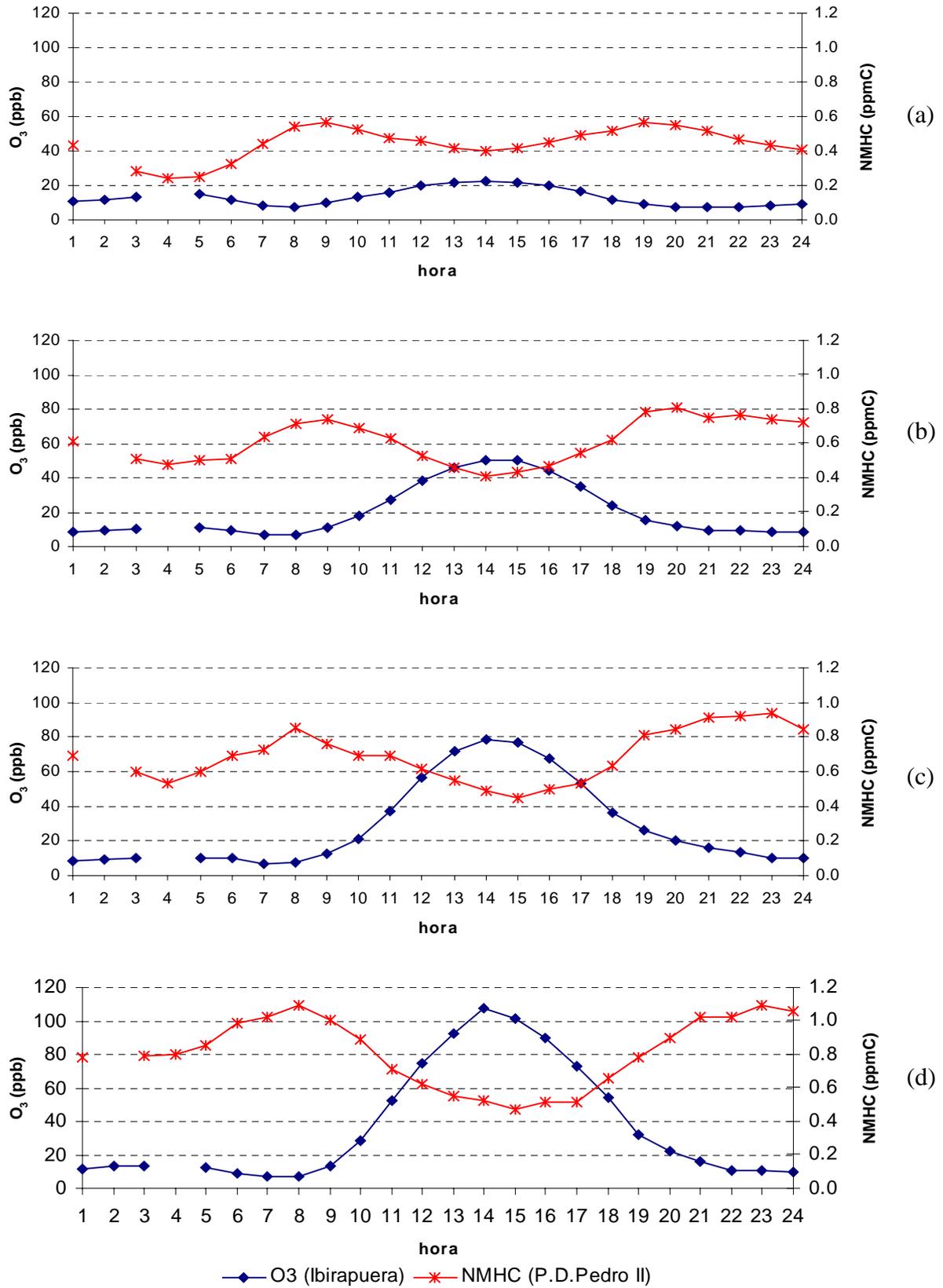


Figura 26 – Valores médios de concentração nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio na estação Ibirapuera.

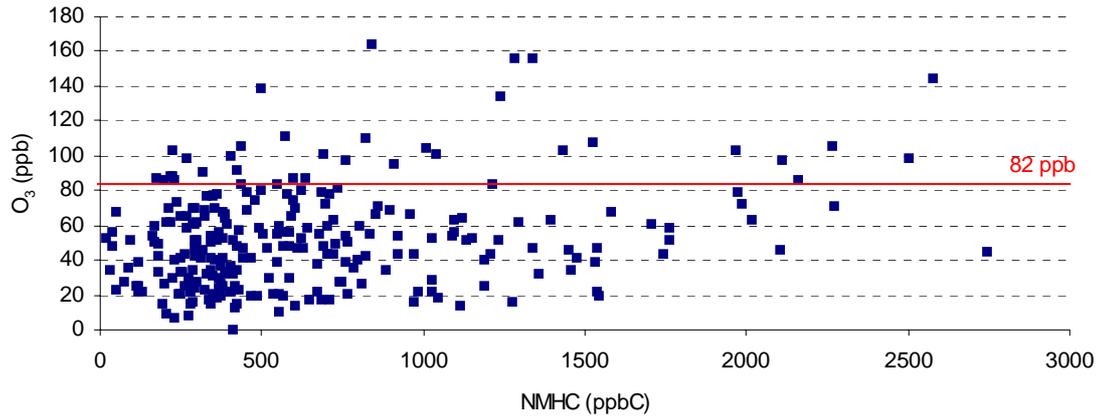


Figura 27 - Dispersão de Máximos de O<sub>3</sub> do Ibirapuera e HCNM (médias da 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II, para o ano de 1999.

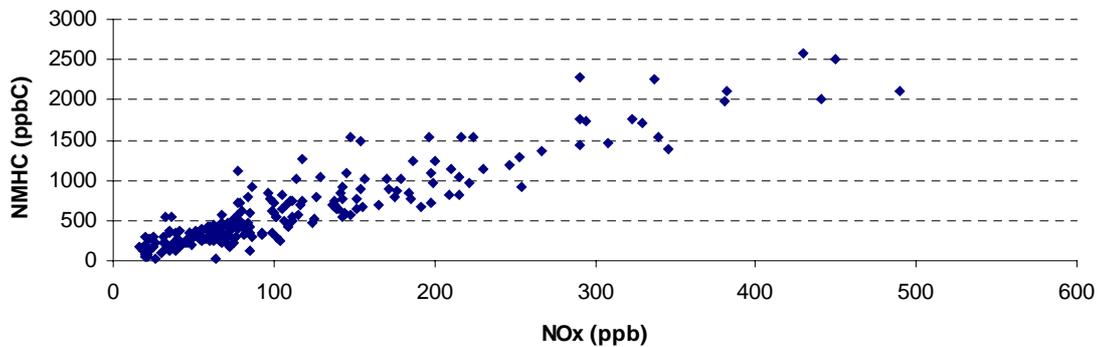


Figura 28 - Dispersão de HCNM e NOx do Parque D. Pedro II, no período das 7 às 9 horas, para o ano de 1999.

De maneira geral, a formação de ozônio é limitada pelas concentrações de COVs e/ou NOx presentes na atmosfera de uma dada região. A literatura<sup>1,4,9,20</sup> descreve a razão COV/NOx como um balanço entre os precursores importante na definição de estratégias a serem adotadas para reduzir as máximas concentrações de ozônio. Em atmosferas com altas concentrações de NOx, em comparação aos COVs (razão baixa), a diminuição na formação do ozônio torna-se mais eficiente se forem controlados os COVs, neste caso o local é considerado COV-limitante. Já atmosferas com altas concentrações de COVs, em relação ao NOx (razão alta), são considerados NOx-limitante, isto é, para um controle mais efetivo do ozônio deve-se diminuir o NOx.

Diversos estudos<sup>20</sup> definem sistemas COV-limitante como aqueles onde a razão HCNM/NOx é menor que 8. No entanto a literatura cita ainda valores de 4 ou 5 como

limite<sup>21</sup>. Razões de 8 a 15, são considerados locais intermediários onde tanto o controle de COV quanto NOx são efetivos na diminuição do O<sub>3</sub><sup>21</sup>. Locais com razões acima de 15 são NOx –limitante.

A Figura 29 apresenta o gráfico de frequência de ocorrência de ultrapassagens do padrão de O<sub>3</sub> na estação Ibirapuera em função da razão HCNM/NOx (média das 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II e de S. Caetano do Sul, em 1999.

O maior número de dias de ultrapassagens na estação Parque D. Pedro II ocorreu na razão 4 a 6 seguida da 6 a 8, podendo este local ser considerado COV limitante. No caso da estação S. Caetano do Sul o maior número de dias de ultrapassagens ocorreu na razão 8 a 10, seguida de 6 a 8. Deve-se ressaltar que esta estação está localizada próxima ao setor de pintura de uma grande montadora de automóveis. Como o processo de pintura é considerado uma fonte significativa de HCNM, pode estar influenciando no aumento da razão na estação.

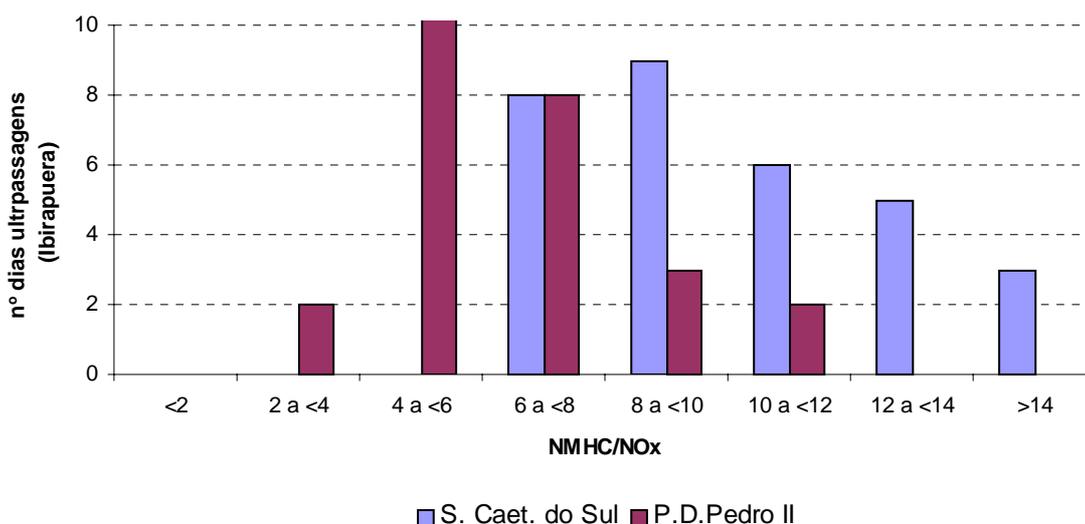


Figura 29 – Frequência de ocorrência de ultrapassagens do padrão na estação Ibirapuera em função da razão HCNM/NOx (média das 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II e de S. Caetano do Sul, em 1999.

Apesar da literatura<sup>9</sup> mostrar que a maior parte das grandes cidades americanas é COV limitante, a representatividade dessas estações está restrita a microescala (Parque D. Pedro II) e média escala (S. Caetano do Sul) o que impede afirmar qual a situação atual da RMSP em relação ao balanço dos precursores.

## 8. CONCLUSÕES

Com relação ao comportamento do ozônio na RMSP, o perfil sazonal mostrou uma maior ocorrência de altas concentrações desde o final do inverno até início do verão. A maior frequência não ocorre nos meses mais quentes e com maior incidência de radiação solar provavelmente pelo aumento da nebulosidade que ocorre nesses meses, o que reduz a quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície, e conseqüentemente, diminui a formação do ozônio na baixa troposfera. A duração dos episódios, em geral, é curta, isto é, as ultrapassagens do padrão ocorrem com maior frequência por uma ou duas horas no dia, entre 13 e 15 horas. Em relação à distribuição dos episódios durante os dias da semana, não observou-se diferenças significativas entre os dias úteis e finais de semana.

As tendências de concentração de O<sub>3</sub> nas estações Ibirapuera e Mauá no período de 1996 a 1999, de maneira geral, foram semelhantes, não sendo observados muitos casos de ultrapassagens em dias consecutivos. No entanto, do total de dias de episódios que ocorreram nessas estações, nesse período, somente 21% dos casos ocorreram nas duas estações. Isto provavelmente ocorre devido à diferente localização geográfica dessas estações na RMSP, sendo assim influenciadas por diferentes condições de transporte.

Na análise do comportamento do vento nos dias de episódios nas estações Mauá e Ibirapuera, observou-se em Mauá uma predominância de ventos de direção norte, variando entre NE e NW, com maior intensidade da velocidade do vento ocorrendo na direção NW. No caso do Ibirapuera, observou-se uma circulação convergente para a região central do Município de São Paulo, onde esta estação está localizada.

Com relação à temperatura observou-se que a maioria dos episódios ocorrem em dias quentes. No Ibirapuera observou-se temperatura máxima entre 25 e 30°C e umidade relativa entre 30 e 70%. Em Mauá temperaturas mais altas (>28°C) e umidade relativa mais baixa ocorrem devido a predominância de ventos quentes e secos de direção noroeste.

Em relação à radiação solar global observou-se que as ultrapassagens do padrão ocorreram geralmente em dias com valores acima de 700 W/m<sup>2</sup>.

Na análise do perfil das concentrações médias horárias de NO, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> observou-se que o valor máximo de NO no período da manhã, em todas as estações, normalmente ocorre por volta das 8 horas coincidindo com o pico de tráfego, e que

ainda no período da manhã a concentração de NO diminui sendo acompanhada do aumento do NO<sub>2</sub>, cujo pico ocorre por volta das 10 horas.

Através da análise dos perfis médios dos poluentes de cada uma das estações observou-se um comportamento diferenciado devido à distância da via, assim, as estações foram separadas em dois grupos: veiculares e não veiculares.

As estações não veiculares, como Ibirapuera e Mauá, foram as que apresentaram o maior número de ultrapassagens. Já as estações Congonhas, Osasco, Lapa e Parque D. Pedro II, apresentaram um menor número de ultrapassagens em função da proximidade da via.

Nas estações veiculares o perfil médio de concentração de NO é elevado em função da forte emissão dos veículos que circulam próximos e a concentração de ozônio é baixa uma vez que é rapidamente consumido pelo NO.

Nas estações não veiculares a concentração média de NO no período da manhã é baixa quando comparada às estações veiculares. No horário de formação do ozônio a concentração de NO cai praticamente a zero e a concentração de NO<sub>2</sub> também diminui devido a fotólise do NO<sub>2</sub>. As estações Ibirapuera e Mauá apresentaram características distintas com relação aos perfil médio do ozônio, principalmente nos dias de qualidade do ar inadequada e má. Em Mauá as altas concentrações de ozônio prolongam-se até o final da tarde (horário das 17/18 horas) enquanto que no Ibirapuera, neste mesmo horário, as concentrações de ozônio já são baixas.

Quanto à razão [NO<sub>2</sub>]/[NO], observou-se que as estações veiculares apresentaram razão baixa e praticamente constante no período das 8 as 12h, o que indica que nessas estações o NO é alto devido à forte emissão veicular. No caso das estações não veiculares, as razões foram baixas no período das 8 às 10 horas, horário de maior emissão de NO, e aumentaram rapidamente depois desse horário.

Em relação aos HCNM observou-se, na estação Parque D. Pedro II, uma boa correlação com o NO<sub>x</sub> indicando que estes poluentes devem estar sendo emitidos pelas mesmas fontes. A análise da razão NMHC/NO<sub>x</sub> mostrou-se COV limitante, no entanto a representatividade dessa estação está restrita a microescala o que impede afirmar qual a situação atual da RMSP em relação ao balanço dos precursores.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo faz parte do projeto “Estudo do Comportamento de Oxidantes Fotoquímicos no Ar da Região Metropolitana de São Paulo” e teve como objetivo apresentar o perfil do ozônio na RMSP. Ainda como parte desse projeto, para um melhor entendimento do processo de formação do ozônio, serão realizados estudos específicos nos dias de ultrapassagem do padrão. Paralelamente também serão feitas pesquisas para avaliação de modelos de formação e transporte de O<sub>3</sub>.

É importante ressaltar que diversos países vem estudando, há vários anos, os processos de formação do O<sub>3</sub> na troposfera sem, no entanto, obter um padrão definitivo de ocorrência de altas concentrações deste poluente.

Dessa maneira pode-se considerar que o conhecimento do processo de formação e transporte do ozônio na RMSP ainda demandará tempo, sendo que para obter resultados factíveis é necessário uma boa base de dados de qualidade e de emissão.

Em função, ainda, dos resultados obtidos em Mauá sugere-se estudos que quantifiquem as emissões de precursores na região.

## 10.. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARTER, William P.L.. Development of Ozone Reactivity Scales for Volatile Organic Compounds. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, v. 44, p. 881-899, 1994.
2. DERWENT, R.G., DAVIES, T.J., Modelling the Impact of NO<sub>x</sub> or Hydrocarbon Control on Photochemical Ozone in Europe. *Environmental Pollution*, v. 28, p. 2039-2052, 1994.
3. BURROWS, W.R., BENJAMIM, M., BEAUCHAMP, E.R., *et al.* CART Decision-Tree Statistical Analysis and Prediction of Summer Season Maximum Surface Ozone for the Vancouver, Montreal, and Atlantic Regions of Canada. *J. of Applied Meteorology*, v. 34 (8), p. 1848-1862, 1995.
4. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants. 3 v., July 1996. EPA/600/p-93/004aF
5. KLEY, D., KLEINMANN, M., SANDERMAN, H., *et al.* Photochemical oxidants: state of the science. *Environmental Pollution*, v. 100, p. 19-42, 1999.
6. FOWLER, D., CAPE, J.N., COYLE, M., *et al.* Modeling photochemical oxidant formation, transport, deposition and exposure of terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, v. 100, p. 43-55, 1999.
7. GUARDANI, Roberto, NASCIMENTO, Claudio A.O., GUARDANI, Maria Lúcia G., *et al.* Study of Atmospheric Ozone Formation by Means of a Neural Network-Based Model. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, v. 49, p. 316-323, 1999.
8. DRAXLER, Roland R., Meteorological Factors of Ozone Predictability at Houston, Texas. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, v. 50, p. 259-271, 2000.
9. U.S. Congress, Office of Technology Assessment. Catching Our Breath: Next Steps for Reducing Urban Ozone, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, July 1989.
10. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Environmental Health Criteria 7: Photochemical Oxidants, Geneva, 1979.
11. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 40 Code Federal Register, Ch 1, Pt 58, App. D., 7-1-1996.
12. Idem, *ibidem*, App. E.
13. LOMBARDO, Magda Adelaide. *Ilha de Calor nas Metr p les: O Exemplo de São Paulo*, São Paulo: HUCITEC, 1985.

14. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Guideline for Developing an Ozone Forecasting Program, July 1999, EPA-454/R-99-009.
15. COMRIE, Andrew C., YARNAL, Brent. Relationships Between Synoptic-Scale Atmospheric Circulation and Ozone Concentrations in Metropolitan Pittsburgh, Pennsylvania. *Atmospheric Environment*, v. 26B, p.301-312, 1992.
16. [www.cptec.inpe.br/products/climanalise](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise)
17. CETESB. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 1999. São Paulo, 2000.
18. WALLACE, J.M., HOBBS, P.V., *Atmospheric Science*. New York: Academic Press, 1977.
19. INMET. Normas Climatológicas (1961 – 1990). 1992
20. THE NATIONAL ACADEMY PRESS. Ozone-forming Potential of Reformulated Gasoline, 1999.
21. [www.epa.gov/airprog/oar/oaqps/pams/analysis/noy/ozone.html](http://www.epa.gov/airprog/oar/oaqps/pams/analysis/noy/ozone.html)

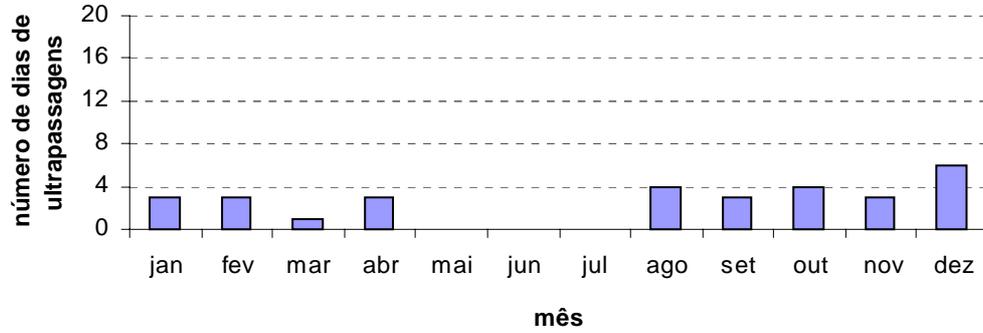
**Equipe Técnica:** EQQA  
EQQI  
EQQM  
EQQT

**Relatório elaborado por:** Carlos Ibsen V. Lacava  
Clarice Aico Muramoto  
Cristiane F. Fernandes Lopes

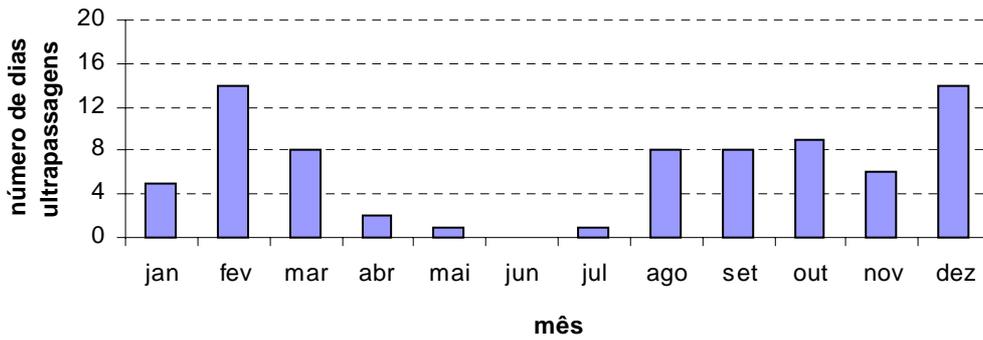
## ANEXO 1

**Total de dias de ultrapassagens do PQAR por mês para cada estação na RMSP de jan/97 a dez/99.**

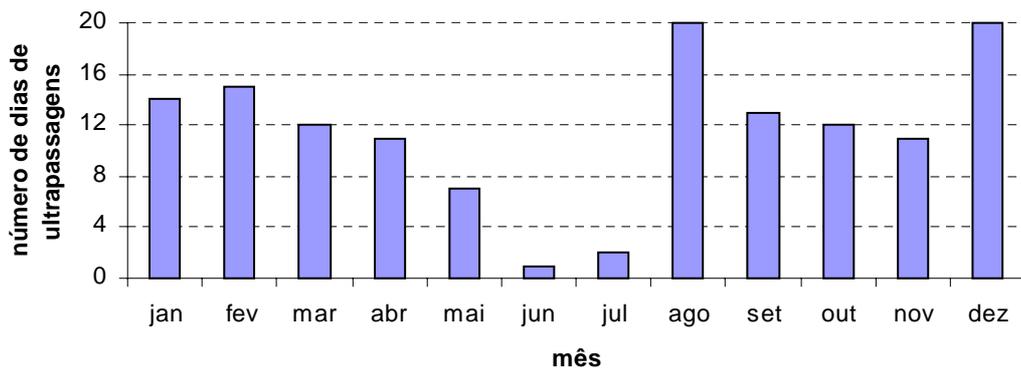
**Parque D. Pedro II**



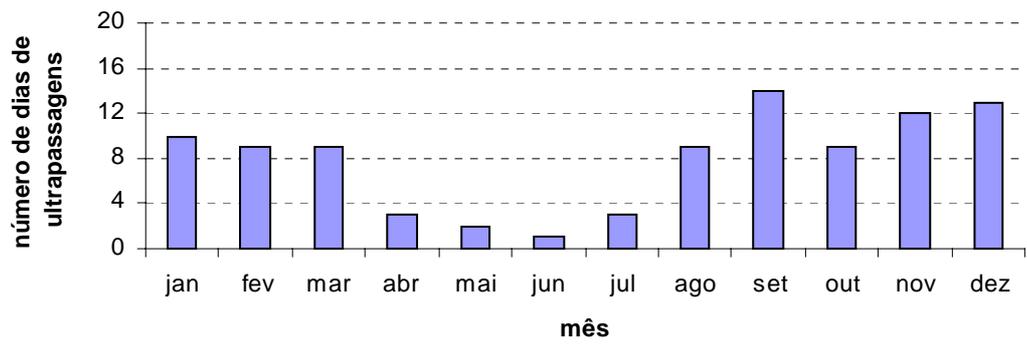
**Moóca**



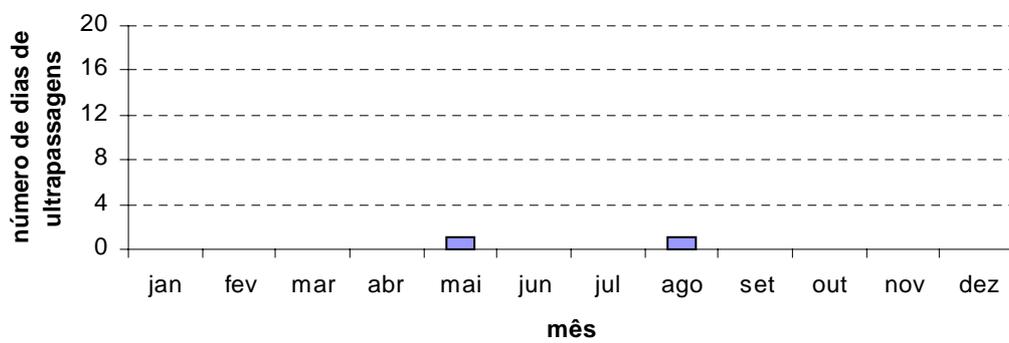
**Ibirapuera**



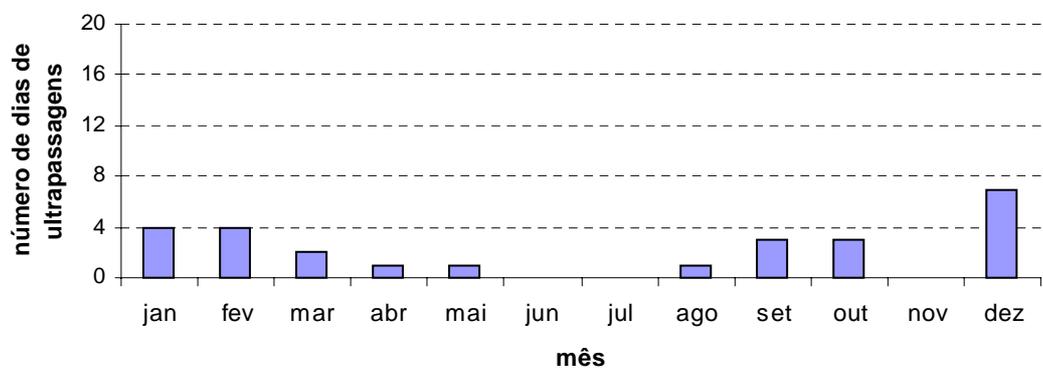
### São Caetano do Sul



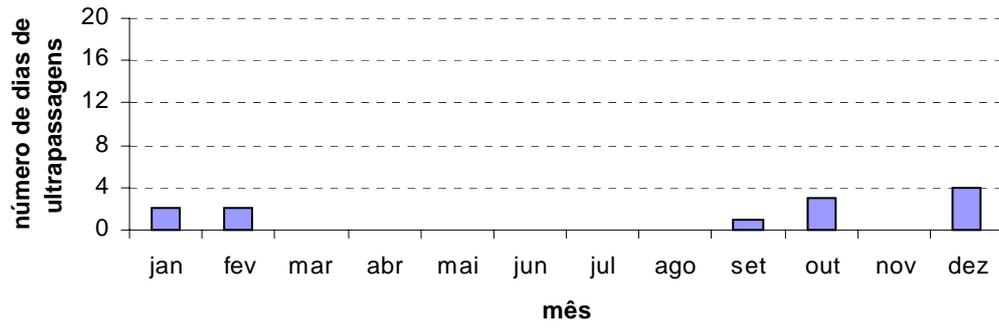
### Congonhas



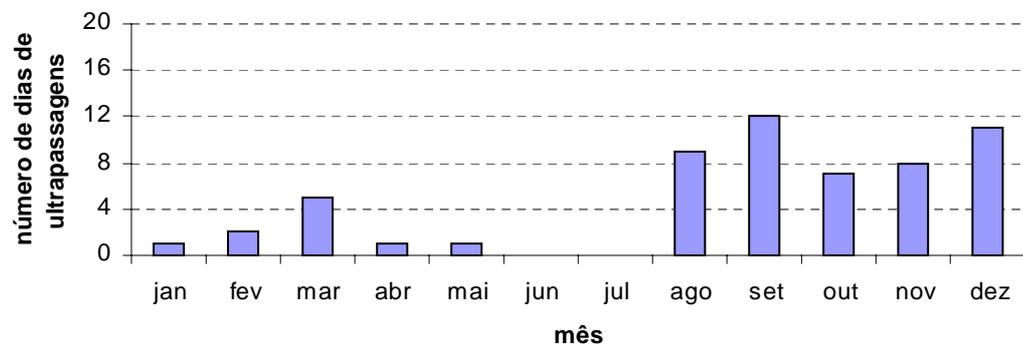
### Lapa



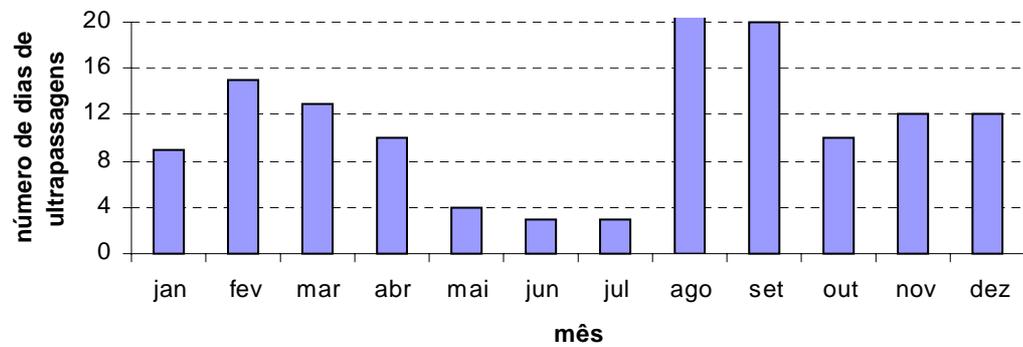
### Osasco



### São Miguel Paulista



### Mauá



## ANEXO 2

### Máximas concentrações de ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nos dias em que ocorreram episódios em pelo menos uma das estações.

Estação	P.D.Pedro II		Moóca		Ibirapuera		S.C.do Sul		Congonhas		Lapa		Osasco		S.M.Paulista		Mauá	
	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora
28/05/96	49	12	82	16	<b>172</b>	15	-	-	69	12	-	-	-	-	-	-	-	-
29/05/96	-	-	29	3	<b>161</b>	15	-	-	76	13	-	-	-	-	-	-	-	-
11/06/96	-	-	68	15	137	16	-	-	<b>204</b>	11	-	-	-	-	-	-	-	-
18/06/96	-	-	44	13	121	24	-	-	30	11	-	-	<b>179</b>	19	-	-	-	-
06/07/96	-	-	109	14	<b>172</b>	14	-	-	53	13	-	-	88	14	-	-	-	-
12/07/96	45	15	-	-	<b>173</b>	15	-	-	108	13	-	-	47	14	-	-	-	-
13/07/96	93	14	-	-	<b>224</b>	14	-	-	121	14	-	-	62	15	-	-	-	-
18/07/96	63	15	-	-	<b>254</b>	14	-	-	48	16	-	-	81	14	-	-	-	-
19/07/96	49	20	-	-	<b>162</b>	11	-	-	53	21	-	-	73	16	-	-	-	-
28/07/96	112	15	160	15	<b>260</b>	15	-	-	92	12	-	-	128	14	-	-	-	-
01/08/96	123	15	<b>194</b>	15	<b>218</b>	14	<b>221</b>	15	109	13	-	-	130	14	-	-	-	-
02/08/96	93	14	106	14	<b>193</b>	13	90	13	85	13	-	-	105	14	-	-	-	-
03/08/96	108	16	120	16	<b>189</b>	15	118	15	95	14	-	-	104	15	-	-	-	-
04/08/96	107	14	-	-	<b>172</b>	15	141	16	94	16	-	-	95	16	-	-	-	-
05/08/96	103	15	-	-	<b>204</b>	14	133	14	52	13	-	-	109	13	-	-	7	23
06/08/96	158	14	-	-	<b>374</b>	14	<b>245</b>	14	128	12	-	-	141	15	-	-	137	13
07/08/96	<b>220</b>	14	<b>302</b>	14	<b>241</b>	15	<b>273</b>	13	84	13	-	-	143	15	-	-	134	13
08/08/96	100	15	127	16	<b>162</b>	13	107	14	121	14	-	-	87	15	-	-	147	14
20/08/96	87	16	141	17	<b>169</b>	15	132	17	133	14	139	17	123	16	94	15	<b>219</b>	15
22/08/96	119	16	<b>166</b>	16	<b>209</b>	15	108	14	-	-	73	15	142	16	119	16	<b>170</b>	16
26/08/96	61	15	89	15	127	15	136	16	71	14	13	19	73	15	121	16	<b>165</b>	15
20/09/96	139	15	<b>205</b>	15	<b>204</b>	15	<b>202</b>	14	121	14	155	17	73	17	<b>171</b>	15	142	14
21/09/96	<b>177</b>	15	<b>253</b>	15	<b>215</b>	15	<b>217</b>	14	103	12	<b>224</b>	16	<b>164</b>	15	<b>206</b>	15	150	14
22/09/96	124	12	<b>166</b>	14	<b>169</b>	14	<b>175</b>	14	116	12	88	11	126	11	<b>190</b>	15	<b>184</b>	13
23/09/96	<b>217</b>	13	<b>273</b>	13	<b>209</b>	13	133	14	38	13	<b>245</b>	14	<b>192</b>	13	<b>207</b>	12	118	17
29/09/96	140	14	<b>198</b>	14	<b>192</b>	14	<b>183</b>	13	86	13	153	14	139	13	<b>205</b>	14	122	13
02/10/96	102	14	136	14	<b>168</b>	14	111	13	79	13	99	15	113	14	146	15	90	13
06/10/96	79	11	103	11	133	11	160	10	57	10	39	13	75	12	160	11	<b>191</b>	11
10/10/96	78	16	124	15	<b>163</b>	15	109	15	115	17	76	14	86	14	126	16	119	15
12/10/96	102	17	143	11	<b>163</b>	12	<b>182</b>	13	88	11	83	11	98	12	129	13	<b>211</b>	14
17/10/96	79	14	141	13	<b>185</b>	14	<b>191</b>	15	92	13	115	18	87	18	127	15	154	15
18/10/96	54	16	115	12	<b>163</b>	13	<b>163</b>	14	80	12	28	11	72	15	126	14	<b>202</b>	16
20/10/96	149	14	<b>208</b>	13	155	14	160	14	40	14	151	14	110	14	125	16	111	14
22/10/96	67	16	115	15	<b>174</b>	17	125	16	73	14	66	18	100	15	103	13	99	16
28/10/96	125	16	<b>177</b>	15	<b>167</b>	15	-	-	44	15	144	15	<b>175</b>	15	144	17	94	15
29/10/96	103	16	<b>179</b>	15	<b>230</b>	16	-	-	109	14	133	17	145	16	123	16	<b>168</b>	17
30/10/96	135	16	<b>206</b>	15	<b>232</b>	16	158	15	138	15	120	18	<b>189</b>	17	<b>185</b>	17	<b>165</b>	15
31/10/96	68	18	143	17	154	18	<b>176</b>	18	94	13	76	19	90	14	156	18	<b>227</b>	13
07/11/96	143	17	<b>195</b>	16	<b>232</b>	17	<b>206</b>	15	100	13	68	16	111	18	127	15	<b>174</b>	15
08/11/96	137	16	79	12	<b>240</b>	17	<b>193</b>	16	59	14	113	17	89	17	<b>170</b>	16	<b>209</b>	13
10/11/96	83	16	-	-	125	15	148	19	75	11	48	24	81	13	106	14	<b>179</b>	19
12/11/96	122	16	-	-	<b>189</b>	14	145	15	113	14	<b>174</b>	17	<b>167</b>	17	139	16	111	15
24/11/96	143	14	<b>170</b>	15	160	13	<b>164</b>	14	81	14	145	14	132	14	<b>215</b>	15	149	16
29/11/96	110	16	147	16	<b>163</b>	16	116	15	97	15	137	17	107	16	121	15	121	16
Estação	P.D.Pedro II		Moóca		Ibirapuera		S.C.do Sul		Congonhas		Lapa		Osasco		S.M.Paulista		Mauá	

Dia	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora
09/12/96	<b>184</b>	14	<b>245</b>	14	<b>225</b>	14	<b>184</b>	13	42	15	<b>212</b>	15	<b>185</b>	14	157	15	141	14
10/12/96	<b>198</b>	15	<b>256</b>	14	<b>272</b>	14	<b>194</b>	14	-	-	<b>307</b>	15	<b>339</b>	15	<b>169</b>	15	129	14
11/12/96	71	14	127	14	<b>170</b>	14	158	14	-	-	70	16	76	15	96	15	115	14
14/12/96	<b>172</b>	14	<b>214</b>	14	<b>219</b>	13	144	13	55	13	<b>195</b>	14	<b>171</b>	13	92	13	-	-
15/12/96	127	13	<b>189</b>	14	<b>189</b>	15	<b>178</b>	14	105	13	130	16	101	16	124	14	-	-
16/12/96	79	13	151	17	<b>170</b>	12	156	16	82	12	69	19	64	13	106	17	64	19
19/12/96	83	18	<b>169</b>	13	<b>184</b>	13	<b>177</b>	13	125	12	61	12	81	13	121	14	<b>255</b>	15
25/12/96	<b>161</b>	14	<b>229</b>	14	<b>239</b>	14	<b>253</b>	13	147	13	125	16	94	12	<b>173</b>	15	<b>174</b>	14
26/12/96	85	19	151	19	158	19	<b>174</b>	18	83	12	68	19	74	17	124	19	<b>240</b>	16
05/01/97	149	15	<b>189</b>	15	<b>173</b>	14	159	15	123	8	<b>170</b>	14	145	14	99	14	90	15
06/01/97	76	14	151	15	<b>174</b>	15	<b>191</b>	13	55	14	-	-	125	16	103	14	153	13
08/01/97	38	16	73	17	101	12	113	12	40	12	10	16	49	16	-	-	<b>179</b>	12
15/01/97	77	15	135	15	<b>166</b>	14	134	13	53	11	58	15	81	15	-	-	106	15
30/01/97	55	16	106	17	111	17	129	16	38	16	17	18	52	17	-	-	<b>192</b>	18
03/02/97	-	-	44	16	85	17	116	18	41	17	-	-	51	15	-	-	<b>192</b>	17
04/02/97	-	-	114	17	128	19	112	16	75	12	19	16	76	20	-	-	<b>162</b>	14
05/02/97	137	16	<b>241</b>	16	<b>204</b>	16	<b>230</b>	15	67	14	118	17	107	17	-	-	<b>187</b>	14
06/02/97	89	15	150	15	<b>182</b>	15	117	15	73	12	113	15	131	16	-	-	96	13
07/02/97	160	15	<b>220</b>	14	<b>233</b>	14	153	15	68	12	<b>229</b>	15	<b>278</b>	14	-	-	126	15
08/02/97	139	16	<b>179</b>	16	<b>182</b>	16	150	15	100	13	159	16	140	15	-	-	132	15
09/02/97	144	15	<b>201</b>	15	<b>184</b>	15	<b>193</b>	15	100	13	88	16	62	12	-	-	100	13
10/02/97	85	13	132	14	<b>174</b>	17	<b>177</b>	16	91	14	52	12	48	14	-	-	<b>168</b>	16
11/02/97	82	17	132	17	144	17	160	16	62	16	57	18	-	-	-	-	<b>168</b>	15
12/02/97	116	14	<b>197</b>	14	<b>176</b>	14	<b>182</b>	14	117	12	59	16	100	16	-	-	127	14
22/02/97	71	12	121	12	144	12	<b>163</b>	15	82	12	34	11	54	14	103	13	<b>174</b>	13
23/02/97	126	11	<b>206</b>	12	151	14	<b>209</b>	14	118	10	87	10	81	10	<b>200</b>	13	<b>217</b>	13
25/02/97	133	13	<b>213</b>	13	<b>230</b>	13	147	13	51	10	<b>187</b>	14	123	13	116	15	106	14
26/02/97	155	13	<b>212</b>	14	<b>232</b>	12	<b>177</b>	14	43	10	<b>189</b>	14	<b>255</b>	13	<b>187</b>	15	147	14
04/03/97	59	16	107	16	112	13	16	2	40	11	29	17	65	16	<b>165</b>	16	<b>189</b>	14
07/03/97	68	17	131	17	85	20	124	16	29	14	68	18	81	18	134	17	<b>167</b>	15
08/03/97	122	15	<b>169</b>	13	<b>209</b>	13	44	9	106	13	86	17	84	16	117	15	157	13
11/03/97	119	15	<b>168</b>	15	<b>208</b>	15	133	15	81	13	42	11	146	14	116	15	123	15
12/03/97	57	15	105	14	134	15	140	15	48	11	-	-	57	14	136	14	<b>165</b>	15
13/03/97	55	13	102	11	157	13	150	13	66	10	-	-	65	15	106	15	<b>176</b>	13
14/03/97	104	13	<b>164</b>	14	<b>210</b>	13	144	15	48	13	<b>177</b>	12	157	15	116	13	125	15
20/03/97	75	13	116	13	<b>164</b>	12	92	14	64	12	29	10	76	13	93	13	108	14
21/03/97	98	12	123	12	<b>178</b>	11	101	11	29	10	123	13	94	13	91	12	82	13
23/03/97	111	14	<b>190</b>	14	<b>210</b>	14	<b>194</b>	14	105	14	95	13	78	14	144	15	156	13
24/03/97	143	13	<b>257</b>	13	<b>162</b>	13	<b>171</b>	12	42	12	156	13	108	12	159	14	<b>218</b>	12
11/04/97	64	13	99	13	138	13	139	14	49	11	30	14	61	14	127	14	<b>163</b>	15
13/04/97	95	13	137	14	<b>163</b>	13	<b>163</b>	15	96	12	62	12	98	13	141	17	<b>179</b>	13
14/04/97	81	14	-	-	<b>172</b>	13	<b>171</b>	14	45	11	99	15	87	12	<b>222</b>	15	<b>173</b>	15
15/04/97	98	15	-	-	<b>185</b>	15	140	15	72	12	119	15	90	15	116	15	128	14
16/04/97	71	16	118	14	<b>199</b>	14	129	15	110	14	66	13	63	15	98	15	123	16
27/04/97	74	14	123	14	<b>170</b>	14	116	13	-	-	56	16	88	14	92	15	59	14
01/05/97	59	14	127	14	147	14	148	14	79	14	47	13	58	13	100	14	<b>174</b>	15
02/05/97	39	15	90	18	125	18	126	17	41	13	36	19	66	16	120	15	<b>161</b>	17
03/05/97	159	15	<b>243</b>	13	<b>260</b>	13	<b>193</b>	14	95	13	<b>177</b>	15	159	14	<b>191</b>	14	110	12
Estação	P.D.Pedro II		Moóca		Ibirapuera		S.C.do Sul		Congonhas		Lapa		Osasco		S.M.Paulista		Mauá	

Dia	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora
08/05/97	75	14	130	14	<b>182</b>	14	114	14	-	-	74	14	87	14	116	15	85	13
09/05/97	113	14	151	14	<b>222</b>	14	131	13	-	-	129	14	101	14	100	14	94	13
09/07/97	36	14	88	15	122	14	<b>191</b>	17	98	14	23	13	58	13	85	15	117	16
26/07/97	48	16	156	15	<b>170</b>	15	112	14	61	14	52	16	115	16	98	15	79	14
27/07/97	49	16	<b>164</b>	17	<b>167</b>	16	<b>200</b>	16	114	16	38	17	67	16	141	17	<b>165</b>	15
28/07/97	21	14	106	13	108	16	<b>166</b>	14	61	15	15	18	48	15	146	15	<b>232</b>	16
29/07/97	19	16	93	13	134	16	124	13	63	16	16	18	53	16	98	14	<b>174</b>	14
02/08/97	21	17	132	16	<b>178</b>	16	144	14	83	13	21	17	158	15	106	14	143	15
11/08/97	27	16	145	16	<b>167</b>	16	143	15	60	15	47	16	87	15	-	-	108	15
12/08/97	33	15	149	16	<b>175</b>	14	<b>165</b>	15	45	12	20	17	66	16	<b>172</b>	16	<b>165</b>	14
13/08/97	38	15	143	14	<b>218</b>	12	129	13	85	11	47	15	81	15	131	14	91	12
14/08/97	37	14	128	14	<b>171</b>	14	98	15	79	14	57	16	84	16	98	15	118	15
15/08/97	24	19	85	13	135	12	116	14	-	-	15	22	55	13	116	16	<b>174</b>	14
16/08/97	28	21	99	12	144	15	-	-	66	16	14	20	45	15	98	16	<b>169</b>	13
17/08/97	16	16	141	12	130	13	-	-	64	13	11	19	59	15	89	16	<b>167</b>	13
22/08/97	15	14	128	14	<b>193</b>	14	-	-	68	16	10	13	61	14	153	15	118	14
27/08/97	24	16	136	15	<b>247</b>	15	129	14	104	14	16	13	61	16	92	16	90	15
29/08/97	46	16	<b>206</b>	15	<b>239</b>	12	<b>161</b>	15	56	11	71	15	158	13	140	14	108	12
30/08/97	84	16	<b>293</b>	15	<b>330</b>	15	<b>272</b>	15	98	14	100	16	154	17	<b>183</b>	15	<b>199</b>	14
31/08/97	36	14	<b>165</b>	14	<b>173</b>	13	<b>191</b>	14	83	13	52	17	83	12	<b>218</b>	16	<b>223</b>	18
01/09/97	46	11	131	12	130	15	133	14	34	12	20	17	60	15	<b>163</b>	15	<b>217</b>	15
02/09/97	43	15	160	15	159	16	<b>175</b>	15	27	11	47	17	64	17	<b>198</b>	15	<b>205</b>	14
03/09/97	21	15	115	14	153	15	159	15	51	13	12	9	66	15	127	16	<b>163</b>	14
04/09/97	23	17	121	14	135	14	154	12	31	13	8	16	53	13	133	16	<b>229</b>	13
08/09/97	41	19	107	13	138	15	143	15	28	14	12	19	54	16	137	15	<b>165</b>	16
09/09/97	57	24	129	13	153	14	159	13	27	12	18	17	63	13	137	13	<b>174</b>	13
17/09/97	52	14	<b>204</b>	14	<b>197</b>	15	<b>177</b>	14	17	11	62	16	83	14	<b>214</b>	15	121	15
24/09/97	43	17	120	14	159	14	153	15	45	11	13	18	53	15	128	17	<b>210</b>	14
28/09/97	35	17	137	13	125	13	147	14	29	13	15	19	30	16	44	11	<b>228</b>	14
04/10/97	39	16	154	16	<b>164</b>	15	113	15	49	15	45	16	87	16	105	15	121	14
09/10/97	22	15	<b>165</b>	16	<b>233</b>	16	53	17	73	15	21	17	38	16	117	16	152	15
10/10/97	22	24	<b>193</b>	14	<b>170</b>	14	159	15	37	14	23	24	59	15	<b>254</b>	15	<b>323</b>	16
12/10/97	61	15	<b>216</b>	14	<b>235</b>	13	<b>199</b>	15	60	12	81	15	128	14	<b>223</b>	16	<b>200</b>	14
13/10/97	74	16	<b>303</b>	16	<b>293</b>	14	<b>267</b>	15	81	13	57	17	76	16	<b>233</b>	18	<b>270</b>	14
15/10/97	14	17	114	16	142	16	113	16	42	12	23	17	47	15	115	17	<b>185</b>	14
25/10/97	13	15	121	13	156	13	130	14	31	13	7	14	48	16	112	15	<b>210</b>	14
28/10/97	12	16	125	16	134	14	127	15	32	15	17	18	44	15	117	18	<b>217</b>	13
29/10/97	12	15	111	13	136	13	118	13	26	16	16	18	41	15	139	16	<b>172</b>	14
31/10/97	14	15	139	16	<b>181</b>	15	131	15	55	15	20	17	48	15	138	16	98	15
01/11/97	22	17	127	14	120	14	125	14	16	15	19	17	43	16	108	16	<b>192</b>	14
03/11/97	14	5	151	16	154	13	<b>169</b>	14	26	13	10	21	32	13	<b>191</b>	14	<b>286</b>	16
07/11/97	10	16	105	13	148	15	137	13	28	14	10	17	37	14	116	15	<b>274</b>	13
08/11/97	47	16	<b>175</b>	15	133	15	127	16	13	14	63	16	57	14	<b>187</b>	16	114	15
09/11/97	45	15	158	14	151	14	136	16	38	12	44	14	63	13	<b>195</b>	16	<b>211</b>	13
10/11/97	100	15	<b>268</b>	15	<b>268</b>	14	<b>168</b>	15	60	11	86	14	119	15	<b>161</b>	15	129	15
11/11/97	67	17	<b>253</b>	17	<b>205</b>	18	<b>221</b>	17	53	12	51	17	49	16	<b>234</b>	16	<b>279</b>	13
12/11/97	17	3	144	15	160	14	<b>165</b>	16	30	12	14	5	41	14	144	17	<b>240</b>	16
17/11/97	-	-	-	-	<b>175</b>	17	111	15	11	16	22	16	49	18	80	14	89	16
Estação	P.D.Pedro II		Moóca		Ibirapuera		S.C.do Sul		Congonhas		Lapa		Osasco		S.M.Paulista		Mauá	

Dia	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora
22/11/97	30	15	117	14	113	14	152	13	50	14	15	19	32	17	100	17	<b>216</b>	13
24/11/97	18	13	78	13	103	12	123	12	24	13	6	24	32	13	111	13	<b>201</b>	12
05/12/97	<b>178</b>	16	<b>208</b>	17	<b>403</b>	15	<b>233</b>	15	109	13	117	15	108	14	<b>230</b>	16	<b>224</b>	15
09/12/97	74	15	<b>212</b>	14	<b>222</b>	14	117	13	72	13	87	15	119	15	138	15	135	16
21/12/97	26	19	93	17	91	15	-	-	38	16	7	20	37	15	90	16	<b>187</b>	18
24/12/97	127	14	<b>312</b>	14	<b>219</b>	14	-	-	31	14	26	16	74	13	<b>208</b>	13	<b>162</b>	14
25/12/97	88	15	145	15	<b>161</b>	15	-	-	31	16	40	17	59	13	97	16	83	14
26/12/97	46	18	108	17	146	14	-	-	26	15	24	19	46	17	102	14	<b>178</b>	16
29/12/97	38	15	129	15	123	17	-	-	27	18	8	19	39	15	100	15	<b>219</b>	16
31/12/97	86	15	<b>188</b>	13	<b>175</b>	14	-	-	23	14	31	15	61	13	<b>227</b>	14	136	14
14/01/98	19	15	76	15	87	17	<b>187</b>	16	23	17	8	18	35	17	83	17	124	16
15/01/98	16	17	68	17	83	16	<b>162</b>	13	27	16	12	18	36	16	97	15	116	14
21/01/98	59	18	159	17	146	17	<b>163</b>	17	25	18	36	19	50	18	109	17	-	-
23/01/98	42	17	122	17	116	16	<b>170</b>	16	14	16	-	-	46	16	115	17	-	-
26/01/98	13	21	72	21	68	15	77	12	17	16	-	-	33	17	59	13	<b>199</b>	18
29/01/98	80	15	<b>185</b>	14	<b>171</b>	14	<b>177</b>	13	18	12	-	-	83	15	-	-	109	14
03/02/98	83	15	<b>177</b>	15	<b>168</b>	19	137	16	17	17	-	-	75	15	-	-	113	16
05/02/98	-	-	86	14	107	13	152	13	20	18	-	-	35	19	126	16	<b>191</b>	13
06/02/98	-	-	<b>179</b>	13	156	13	<b>219</b>	13	17	12	-	-	39	12	71	17	<b>200</b>	13
07/02/98	-	-	89	13	94	12	136	13	17	15	-	-	33	15	98	15	<b>177</b>	13
20/02/98	-	-	88	16	114	14	109	16	18	16	-	-	19	15	87	13	<b>199</b>	14
21/02/98	-	-	101	16	106	14	147	16	18	18	-	-	20	14	105	17	<b>222</b>	16
03/03/98	109	14	<b>208</b>	15	<b>191</b>	15	<b>181</b>	14	54	12	16	12	34	13	122	15	151	13
04/03/98	84	14	<b>225</b>	15	<b>184</b>	13	<b>161</b>	13	74	12	28	12	33	14	148	15	133	15
06/03/98	77	16	61	16	141	16	140	12	47	12	28	17	25	14	88	14	<b>199</b>	13
07/03/98	113	17	78	17	145	12	<b>197</b>	16	44	15	28	18	27	18	139	17	<b>221</b>	15
08/03/98	68	16	47	16	74	16	115	15	37	10	18	17	23	16	114	15	<b>167</b>	15
09/03/98	<b>170</b>	13	86	14	<b>271</b>	13	<b>381</b>	15	125	13	37	17	38	15	<b>193</b>	16	<b>282</b>	13
13/03/98	131	14	64	14	<b>177</b>	14	132	14	61	14	51	15	44	14	114	14	93	13
29/03/98	158	13	69	13	<b>191</b>	13	<b>185</b>	12	-	-	49	15	33	13	104	13	78	14
12/04/98	<b>195</b>	17	100	17	<b>189</b>	16	-	-	-	-	65	17	32	17	122	17	<b>183</b>	15
13/04/98	<b>195</b>	15	85	16	<b>221</b>	14	-	-	-	-	132	16	64	16	139	16	103	15
14/04/98	74	13	40	15	150	14	-	-	53	12	11	18	20	17	120	17	<b>249</b>	14
15/04/98	115	12	44	13	140	12	-	-	50	11	11	8	21	12	137	14	<b>259</b>	16
21/04/98	114	15	59	15	<b>166</b>	15	155	15	80	14	80	13	20	13	95	16	107	14
22/04/98	44	15	36	16	115	16	115	15	55	12	19	11	15	15	84	15	<b>171</b>	15
27/04/98	71	15	112	15	<b>163</b>	15	119	15	64	13	75	16	20	15	87	16	70	14
13/05/98	36	15	78	15	89	14	114	15	66	15	10	15	15	19	97	14	<b>162</b>	14
21/05/98	144	16	154	16	<b>209</b>	14	149	15	55	14	71	16	131	15	117	16	99	15
23/05/98	133	16	129	16	<b>176</b>	15	141	15	<b>185</b>	15	61	15	106	15	91	16	131	15
24/05/98	120	14	145	15	<b>181</b>	14	<b>184</b>	14	116	14	98	16	124	15	105	15	121	15
07/06/98	141	14	150	15	125	13	<b>169</b>	15	84	16	34	12	57	15	125	17	<b>189</b>	16
11/08/98	55	15	85	14	95	16	106	15	36	12	11	7	47	15	110	16	<b>167</b>	19
13/08/98	<b>192</b>	12	<b>226</b>	12	<b>287</b>	13	<b>183</b>	13	<b>214</b>	14	49	13	72	13	116	15	108	13
16/08/98	<b>176</b>	14	<b>187</b>	14	<b>178</b>	13	106	12	53	12	126	14	105	14	93	14	-	-
20/08/98	79	16	112	16	113	17	131	14	41	13	75	17	63	16	<b>164</b>	15	<b>165</b>	14
21/08/98	118	14	147	14	<b>162</b>	14	133	13	84	13	125	15	100	14	127	14	102	13
25/08/98	83	15	116	14	130	14	151	15	60	15	19	15	63	14	134	16	<b>171</b>	16
Estação	P.D.Pedro II		Moóca		Ibirapuera		S.C.do Sul		Congonhas		Lapa		Osasco		S.M.Paulista		Mauá	

Dia	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora
26/08/98	74	15	116	15	124	15	148	15	89	14	20	19	77	15	129	15	<b>168</b>	13
01/09/98	136	15	153	15	<b>161</b>	15	80	16	74	14	145	16	104	16	116	15	86	16
17/09/98	93	14	141	15	<b>193</b>	14	<b>177</b>	15	152	14	38	12	100	15	115	15	<b>174</b>	15
26/09/98	115	13	<b>166</b>	15	33	2	<b>191</b>	14	90	13	105	16	92	13	148	15	<b>188</b>	13
15/10/98	<b>188</b>	15	<b>186</b>	15	<b>181</b>	15	146	14	62	14	<b>178</b>	16	<b>199</b>	16	142	15	77	14
21/10/98	146	16	154	16	<b>176</b>	16	138	15	109	15	113	17	134	16	116	16	106	16
22/10/98	131	14	151	14	<b>225</b>	14	<b>185</b>	14	153	14	71	13	99	17	148	16	152	15
23/10/98	78	16	94	14	129	16	138	16	79	15	22	14	76	16	114	13	<b>169</b>	13
04/11/98	<b>191</b>	16	<b>239</b>	16	<b>213</b>	16	<b>203</b>	16	87	15	111	15	107	16	<b>250</b>	16	91	16
05/11/98	118	13	142	14	<b>173</b>	15	<b>201</b>	14	113	12	124	18	108	17	<b>182</b>	16	<b>164</b>	13
06/11/98	144	15	159	15	<b>183</b>	15	142	13	133	13	158	16	135	15	150	15	115	15
07/11/98	105	16	122	16	<b>170</b>	12	<b>165</b>	15	134	12	-	-	94	18	142	17	<b>181</b>	14
28/11/98	<b>172</b>	15	<b>171</b>	15	<b>182</b>	15	89	14	106	15	145	15	143	15	94	15	59	15
01/12/98	<b>166</b>	15	<b>184</b>	14	<b>246</b>	14	<b>164</b>	14	98	13	<b>171</b>	17	<b>163</b>	15	158	15	69	15
02/12/98	123	15	<b>164</b>	15	<b>165</b>	15	<b>199</b>	16	88	12	88	20	114	16	<b>217</b>	16	<b>238</b>	16
03/12/98	149	16	<b>163</b>	14	<b>206</b>	16	<b>166</b>	15	114	12	<b>179</b>	16	154	16	130	14	<b>171</b>	15
04/12/98	85	12	108	12	142	12	<b>161</b>	13	104	12	47	16	68	13	100	13	132	13
08/12/98	135	16	119	15	150	15	<b>161</b>	13	89	12	129	18	84	15	111	16	148	13
14/12/98	130	17	<b>170</b>	17	<b>176</b>	12	<b>212</b>	16	108	12	58	18	92	18	126	16	<b>219</b>	16
16/12/98	98	18	106	17	<b>346</b>	15	137	16	44	3	69	18	91	16	<b>180</b>	17	114	16
19/12/98	134	16	-	-	<b>183</b>	14	<b>208</b>	14	115	11	97	17	90	14	149	16	156	14
31/12/98	148	16	149	16	152	13	<b>207</b>	14	94	14	93	17	75	11	<b>183</b>	15	<b>197</b>	13
03/01/99	<b>171</b>	13	150	13	<b>165</b>	12	155	13	101	12	153	13	143	15	85	15	107	13
12/01/99	117	14	137	14	<b>172</b>	14	113	14	92	13	100	15	133	15	93	14	60	14
17/01/99	154	19	152	18	<b>180</b>	19	<b>173</b>	14	97	16	103	20	96	14	98	16	<b>181</b>	15
19/01/99	143	19	<b>171</b>	19	<b>188</b>	19	-	-	91	11	19	17	82	18	137	19	<b>207</b>	17
20/01/99	<b>188</b>	17	<b>229</b>	17	<b>214</b>	18	<b>245</b>	13	82	11	58	18	100	17	<b>228</b>	16	<b>293</b>	14
21/01/99	<b>203</b>	13	<b>222</b>	14	<b>318</b>	14	<b>210</b>	13	130	14	<b>162</b>	14	130	15	140	14	152	15
22/01/99	154	12	157	15	<b>180</b>	14	139	14	52	14	<b>166</b>	13	<b>179</b>	14	96	13	98	14
23/01/99	129	13	138	14	<b>175</b>	14	125	13	89	13	135	15	132	15	108	15	92	14
24/01/99	155	15	147	15	<b>164</b>	15	135	15	99	13	<b>163</b>	16	<b>162</b>	15	107	15	88	15
25/01/99	147	14	150	15	<b>175</b>	14	<b>187</b>	15	119	14	110	19	84	14	120	16	<b>168</b>	15
28/01/99	86	14	108	14	138	14	159	14	58	14	38	17	72	15	104	14	<b>181</b>	14
30/01/99	71	14	83	14	81	14	107	14	44	14	16	14	51	13	68	14	<b>213</b>	14
03/02/99	<b>177</b>	14	119	15	<b>177</b>	13	156	13	38	13	155	14	129	14	104	15	55	11
04/02/99	122	16	<b>188</b>	16	<b>217</b>	16	159	14	113	13	85	17	99	14	118	15	70	18
05/02/99	141	14	<b>180</b>	14	<b>218</b>	14	130	14	118	12	110	15	146	15	114	15	81	15
06/02/99	145	15	144	15	<b>191</b>	15	144	15	111	15	74	13	116	15	95	14	87	19
15/02/99	<b>168</b>	16	<b>168</b>	16	-	-	-	-	55	11	<b>164</b>	17	134	16	94	14	117	14
17/02/99	102	17	123	17	-	-	-	-	67	17	23	16	66	16	96	18	<b>161</b>	17
18/02/99	157	15	<b>188</b>	15	106	16	-	-	45	12	98	16	89	15	159	15	<b>174</b>	12
19/02/99	146	14	149	14	<b>177</b>	14	-	-	51	14	133	15	123	15	111	15	93	14
23/02/99	85	16	98	17	109	14	115	16	53	12	36	17	66	16	112	15	<b>164</b>	13
10/03/99	77	14	85	13	102	13	111	13	23	12	41	17	68	16	<b>162</b>	17	<b>166</b>	16
20/03/99	99	15	121	16	69	12	147	16	122	12	62	19	70	15	101	13	<b>166</b>	15
21/03/99	134	17	145	17	68	17	<b>165</b>	16	70	11	93	18	90	16	<b>180</b>	17	<b>215</b>	16
22/03/99	128	14	<b>161</b>	14	98	14	108	14	124	13	115	14	105	13	119	14	93	12
26/03/99	151	14	158	15	148	12	143	12	82	12	<b>174</b>	15	74	16	133	15	128	15
Estação	P.D.Pedro II		Moóca		Ibirapuera		S.C.do Sul		Congonhas		Lapa		Osasco		S.M.Paulista		Mauá	

Dia	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora
27/03/99	122	12	130	13	81	14	<b>191</b>	13	85	12	65	18	80	14	135	13	<b>236</b>	14
30/03/99	112	13	118	14	64	12	145	12	22	14	77	13	67	14	<b>178</b>	13	133	11
02/04/99	104	15	110	18	-	-	154	16	70	15	43	19	62	17	103	15	<b>180</b>	13
06/04/99	151	14	<b>163</b>	14	84	15	115	14	32	10	<b>177</b>	15	133	14	127	15	69	14
19/04/99	98	14	150	14	99	14	157	14	83	12	49	12	71	13	153	15	<b>188</b>	15
20/04/99	94	13	116	13	34	13	<b>175</b>	14	82	12	80	17	82	13	151	14	<b>187</b>	14
24/04/99	139	16	150	15	<b>186</b>	15	142	14	62	15	137	17	141	15	133	16	103	13
25/04/99	<b>181</b>	14	<b>187</b>	14	<b>171</b>	13	137	14	90	12	149	14	135	15	128	14	98	15
03/05/99	119	16	146	16	<b>174</b>	16	155	15	110	15	62	17	54	16	109	16	112	15
04/05/99	71	16	104	18	112	16	137	17	51	12	24	11	60	16	137	18	<b>178</b>	17
17/06/99	136	14	135	13	<b>191</b>	13	114	13	48	12	131	14	46	13	91	14	83	13
23/06/99	79	14	109	15	102	15	135	16	44	16	23	14	55	14	117	14	<b>161</b>	15
24/06/99	74	14	129	15	114	15	122	16	40	13	37	14	47	17	108	16	<b>162</b>	15
05/08/99	90	16	147	16	<b>173</b>	16	123	16	-	-	99	17	49	17	122	16	<b>161</b>	15
06/08/99	62	14	110	15	136	14	131	15	-	-	40	15	56	15	109	16	<b>164</b>	16
10/08/99	64	15	129	14	140	16	129	15	-	-	47	13	64	15	147	16	<b>174</b>	15
11/08/99	81	14	131	13	<b>194</b>	15	<b>166</b>	15	-	-	55	18	86	14	<b>182</b>	14	<b>225</b>	15
12/08/99	-	-	156	15	<b>182</b>	14	<b>175</b>	16	-	-	64	13	89	14	<b>181</b>	17	<b>233</b>	16
21/08/99	85	14	115	14	-	-	151	15	-	-	62	13	56	14	125	16	<b>161</b>	16
22/08/99	147	16	<b>180</b>	16	-	-	156	16	-	-	92	15	82	17	<b>179</b>	17	153	15
26/08/99	76	15	122	15	142	16	156	15	-	-	20	8	68	13	147	16	<b>165</b>	17
27/08/99	75	14	127	15	<b>171</b>	16	142	15	-	-	27	12	84	15	145	14	<b>187</b>	14
28/08/99	85	13	120	13	136	13	134	13	-	-	55	12	65	14	130	14	<b>182</b>	14
29/08/99	<b>163</b>	16	<b>193</b>	16	<b>198</b>	15	<b>226</b>	15	-	-	117	16	121	16	<b>222</b>	16	<b>233</b>	13
30/08/99	<b>199</b>	15	<b>235</b>	15	<b>272</b>	14	<b>168</b>	14	-	-	<b>187</b>	15	123	14	<b>181</b>	15	137	13
31/08/99	73	13	126	13	160	13	151	14	-	-	34	12	71	15	137	15	<b>173</b>	14
01/09/99	100	15	<b>174</b>	16	<b>201</b>	16	<b>179</b>	16	-	-	38	16	114	16	<b>171</b>	16	<b>214</b>	17
02/09/99	105	15	149	15	<b>207</b>	16	<b>181</b>	16	-	-	23	15	103	15	<b>164</b>	15	<b>189</b>	17
03/09/99	<b>178</b>	16	<b>240</b>	16	<b>282</b>	15	<b>220</b>	15	-	-	101	17	157	17	<b>222</b>	14	<b>266</b>	12
04/09/99	<b>222</b>	15	<b>232</b>	15	<b>263</b>	15	<b>204</b>	14	-	-	<b>224</b>	16	<b>164</b>	16	<b>197</b>	15	<b>196</b>	13
05/09/99	<b>181</b>	14	<b>192</b>	15	<b>203</b>	14	<b>184</b>	13	-	-	<b>179</b>	15	151	14	<b>195</b>	15	153	12
06/09/99	113	14	<b>192</b>	15	<b>171</b>	16	<b>203</b>	16	-	-	58	13	109	15	<b>231</b>	16	<b>226</b>	16
07/09/99	106	16	138	16	155	16	<b>161</b>	13	-	-	38	15	96	15	140	14	<b>167</b>	13
13/09/99	117	15	138	14	<b>205</b>	14	121	14	-	-	134	15	96	15	120	15	93	16
14/09/99	97	15	153	15	158	14	<b>181</b>	13	-	-	41	14	71	13	<b>185</b>	16	<b>185</b>	13
18/09/99	120	14	134	14	<b>169</b>	14	106	13	-	-	93	14	100	15	114	14	70	13
19/09/99	130	13	153	14	150	14	<b>198</b>	14	-	-	70	15	86	14	<b>171</b>	15	<b>165</b>	13
27/09/99	140	13	150	13	<b>188</b>	12	146	12	-	-	<b>162</b>	13	100	13	114	13	95	11
28/09/99	132	15	<b>184</b>	16	<b>207</b>	15	<b>220</b>	16	-	-	89	14	117	14	<b>187</b>	15	<b>228</b>	15
29/09/99	87	12	123	13	140	13	148	12	-	-	43	15	88	13	149	13	<b>169</b>	12
01/10/99	98	16	145	13	<b>164</b>	13	<b>193</b>	13	-	-	31	11	96	15	<b>164</b>	16	<b>210</b>	13
13/10/99	<b>185</b>	15	<b>215</b>	15	130	17	<b>231</b>	15	-	-	108	17	111	15	<b>247</b>	16	-	-
14/10/99	<b>249</b>	15	<b>321</b>	15	<b>322</b>	15	<b>275</b>	15	-	-	<b>264</b>	16	<b>187</b>	16	<b>261</b>	16	-	-
15/10/99	132	14	<b>181</b>	14	<b>211</b>	14	<b>306</b>	14	-	-	57	13	102	14	<b>231</b>	15	<b>326</b>	15
22/10/99	73	13	88	13	93	15	<b>172</b>	13	-	-	106	13	56	16	71	12	64	15
29/10/99	<b>218</b>	14	<b>242</b>	14	46	22	<b>217</b>	14	-	-	<b>245</b>	15	<b>171</b>	14	157	15	112	14
02/11/99	145	17	154	17	-	-	<b>162</b>	16	-	-	138	18	121	15	113	14	139	16
03/11/99	91	14	115	15	-	-	<b>180</b>	14	-	-	103	18	76	14	-	-	<b>205</b>	14
Estação	P.D.Pedro II		Moóca		Ibirapuera		S.C.do Sul		Congonhas		Lapa		Osasco		S.M.Paulista		Mauá	

Dia	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora	Conc.	Hora
07/11/99	131	15	143	16	<b>169</b>	15	123	15	-	-	-	-	113	14	116	14	72	16
21/11/99	<b>161</b>	18	<b>185</b>	18	<b>201</b>	18	<b>188</b>	17	-	-	-	-	97	18	158	19	157	16
22/11/99	116	13	150	13	155	14	<b>188</b>	13	-	-	25	18	104	13	<b>216</b>	14	135	13
23/11/99	95	14	102	13	<b>163</b>	14	<b>168</b>	14	-	-	-	-	94	16	141	17	<b>181</b>	13
02/12/99	102	15	148	16	<b>180</b>	15	131	15	-	-	126	17	157	16	134	15	98	15
17/12/99	<b>207</b>	13	<b>256</b>	13	<b>198</b>	12	152	14	-	-	<b>192</b>	13	<b>195</b>	13	<b>186</b>	14	-	-
18/12/99	152	13	<b>183</b>	13	146	14	117	15	-	-	<b>173</b>	14	124	14	-	-	-	-
19/12/99	122	14	147	14	<b>165</b>	13	160	14	-	-	87	16	121	13	<b>183</b>	15	-	-
20/12/99	<b>166</b>	13	<b>206</b>	12	<b>203</b>	12	153	11	-	-	<b>174</b>	14	150	13	123	15	76	16
21/12/99	149	15	<b>161</b>	15	<b>217</b>	13	145	13	-	-	<b>174</b>	16	<b>176</b>	15	119	15	105	14
26/12/99	<b>168</b>	15	91	12	<b>192</b>	15	<b>192</b>	15	-	-	122	14	116	14	119	15	143	14
28/12/99	111	15	152	15	<b>168</b>	14	<b>176</b>	13	-	-	68	16	87	15	<b>197</b>	15	<b>171</b>	14
29/12/99	<b>243</b>	16	<b>257</b>	15	<b>305</b>	14	<b>231</b>	13	-	-	<b>223</b>	16	<b>196</b>	15	<b>204</b>	16	155	15
30/12/99	148	18	<b>199</b>	19	<b>191</b>	18	<b>188</b>	19	-	-	118	18	89	15	<b>246</b>	19	<b>187</b>	19
31/12/99	78	18	113	18	120	18	142	18	-	-	49	19	68	16	110	18	<b>166</b>	17