



SÉRIE RELATÓRIOS

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS
DE OZÔNIO TROPOSFÉRICO
(AOT40) COM REFERÊNCIA À
PROTEÇÃO DA VEGETAÇÃO NO
ESTADO DE SÃO PAULO**

2008 A 2014

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO • SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS
DE OZÔNIO TROPOSFÉRICO
(AOT40) COM REFERÊNCIA À
PROTEÇÃO DA VEGETAÇÃO NO
ESTADO DE SÃO PAULO**

2008 A 2014

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO • SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**São Paulo
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418a CETESB (São Paulo)

Avaliação dos níveis de ozônio troposférico (AOT40) com referência à proteção da vegetação no estado de São Paulo 2008 a 2014 [recurso eletrônico] / CETESB ; Equipe técnica Clarice Aico Muramoto ... [et al.]. ; Mapas Roseli Sachi Arroio ; Coord. Técn., ed. Clarice Aico Muramoto. - - São Paulo : CETESB, 2016.

1 arquivo de texto (70 p.) : il. color., PDF ; 4 MB. - - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103)

Publicado também em papel.

Disponível em: < <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>.

ISBN 978-85-9467-000-7

1. Ar – qualidade – controle 2. Ar – poluição 3. Ozônio troposférico 4. São Paulo (Est.) 5. Vegetação I. Muramoto, Clarice Aico. II. Yanagi, Yoshio. III. Menezes, Gisela Vianna. IV. Lemos, Mara Magalhães Gaeta. V. Título. VI. Série.

CDD (21.ed. Esp.) 363.739 263 816 1

CDU (2.ed. Port.) 632.15:546.214 (815.6)

Normalização para editoração e Catalogação na fonte: Margot Terada - CRB 8.4422

© CETESB 2016

É permitida a reprodução total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.
Direitos reservados de distribuição.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador Geraldo Alckmin

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Secretária Patrícia Faga Iglecias Lemos

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Diretor Presidente	Otávio Okano
Diretor Vice-Presidente	Otávio Okano (cumulativamente)
Diretor de Gestão Corporativa	Edson Tomaz de Lima Filho
Diretor de Engenharia e Qualidade Ambiental	Carlos Roberto dos Santos
Diretor de Controle e Licenciamento Ambiental	Aruntho Savastano Neto
Diretora de Avaliação de Impacto Ambiental	Ana Cristina Pasini da Costa

FICHA TÉCNICA

Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental

Eng. Carlos Roberto dos Santos

Departamento de Qualidade Ambiental

Eng. Carlos Eduardo Komatsu

Divisão de Qualidade do Ar

Quím. Maria Helena R. B. Martins

Setor de Meteorologia

Met. Clarice Aico Muramoto

Divisão de Qualidade das Águas e do Solo

Eng. Nelson Menegon Jr.

Setor de Águas Subterrâneas e do Solo

Geóg. Rosângela Pacini Modesto

Coordenação Técnica

Met. Clarice Aico Muramoto

Equipe Técnica

Met. Clarice Aico Muramoto

Est. Yoshio Yanagi

Biol. Gisela Vianna Menezes

Biol. Mara Magalhães Gaeta Lemos

Quím. Maria Helena R. B. Martins

Tec. Adm. Roseli Sachi Arroio

Mapas

Roseli Sachi Arroio

Projeto Gráfico

Vera Severo

Editoração

Clarice Aico Muramoto

Produção Editorial e Distribuição

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros Tel. 3133.3000 - CEP 05459-900 - São Paulo/SP – Brasil

Este relatório está disponível também na página da CETESB: <http://www.cetesb.sp.gov.br>

Resumo

Este relatório apresenta a avaliação do potencial de fitotoxicidade do ozônio troposférico no Estado de São Paulo, a partir dos resultados obtidos na rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, no período de 2008 a 2014. O ozônio troposférico é considerado um dos poluentes atmosféricos com grande potencial de causar prejuízos à vegetação. Diversos estudos têm apontado que altas concentrações na atmosfera deste poluente podem provocar redução da produtividade e alteração da qualidade do produto vegetal. A poluição por ozônio também afeta os diversos serviços ambientais oferecidos pelos ecossistemas naturais e áreas verdes como sequestro de carbono, aquecimento global, emissão de metano, ciclo da água, floração e polinização. Na legislação brasileira não há um padrão de ozônio específico para a proteção da vegetação ou da produtividade agrícola. A Europa utiliza a abordagem da AOT40 para mapear onde o ozônio troposférico excede níveis críticos para a vegetação. A AOT40 é a concentração acumulada de ozônio acima de 40 ppb. A CETESB utiliza para proteção da vegetação, o Valor de Referência para Proteção da Produtividade Agrícola (VRPP) adaptado da recomendação proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e estabelecido com base na AOT40. O VRPP é uma AOT40 de 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ de ozônio (ou aproximadamente 3.000 ppb.h) acumulada no período de 3 meses (AOT40 trimestral).

Os valores de AOT40 trimestrais foram calculados a partir da adaptação dos critérios definidos na Diretiva Europeia 2008/50/EC, para as estações automáticas de avaliação de qualidade do ar do Estado de São Paulo. Na maioria das estações ocorreram ultrapassagens do VRPP em todo os anos. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foi a que apresentou as condições mais críticas, seguida por outras áreas do interior do Estado, enquanto que a Baixada Santista apresentou o menor número de ultrapassagens do VRPP. De maneira geral, nas Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária, as médias das máximas dos AOT40 trimestrais, no período de 2010 a 2014, foram menores do que as observadas na Unidade Vocacional em Industrialização e maiores do que as observadas na Baixada Santista.

A análise de tendência indicou aumento da concentração horária do ozônio na faixa intermediária, entre 38-76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, na Unidade Vocacional Industrial (considerando as UGRHIs 2, 5 e 10), o que pode acarretar na elevação da concentração média anual de ozônio ao longo do tempo. Os resultados indicam potencial de efeitos adversos tanto para as culturas quanto para os ecossistemas naturais, em algumas regiões do Estado de São Paulo, notadamente na RMSP e na região da UGRHI 5 do interior do Estado.

Palavras-chave

1. Ar – qualidade – controle 2. Ar – poluição 3. Ozônio troposférico 4. São Paulo (Est.) 5. Vegetação

Listas de Ilustrações e Tabelas

GRÁFICOS

Gráfico 1 – Número de dias de ultrapassagem do PQAr, por mês – RMSP – 2008 a 2014	27
Gráfico 2 – Total de dias de ultrapassagem do PQAr, por ano – RMSP.....	28
Gráfico 3 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2008.....	30
Gráfico 4 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2009.....	31
Gráfico 5 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2010.....	31
Gráfico 6 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2011.....	32
Gráfico 7 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2012.....	32
Gráfico 8 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2013.....	33
Gráfico 9- Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2014.....	33
Gráfico 10 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – RMSP	34
Gráfico 11 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2008	39
Gráfico 12 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2009	39
Gráfico 13 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2010	40
Gráfico 14 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2011	40
Gráfico 15 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2012	40
Gráfico 16 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2013	41
Gráfico 17 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2014	41
Gráfico 18 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Baixada Santista	42
Gráfico 19 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2008	43
Gráfico 20 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2009	43
Gráfico 21 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2010	44
Gráfico 22 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2011	44
Gráfico 23 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2012	44
Gráfico 24 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2013	45
Gráfico 25 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2014	45
Gráfico 26 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Interior – Unidade Vocacional Industrial.....	46
Gráfico 27 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2008	48
Gráfico 28 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2009....	49
Gráfico 29 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2010....	49
Gráfico 30 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2011....	49
Gráfico 31 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2012....	50
Gráfico 32 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2013....	50
Gráfico 33 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2014....	50

Gráfico 34 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária	51
Gráfico 35 – Evolução das médias anuais de AOT40 trimestral - RMSP	54
Gráfico 36 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa - RMSP	57
Gráfico 37 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa – Interior - UV Industrial	58
Gráfico 38 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa e estação – Baixada Santista	58
Gráfico 39 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa e estação – Interior - UV Em Industrialização e Agropecuária	59

FIGURAS

Figura 1 – Perfil de concentração de espécies envolvidas no ciclo do ozônio obtido pela variação de intensidade da luz do dia, num sistema fechado	15
Figura 2 – Exemplos de <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3 com folhas saudáveis (esquerda) e com injúrias (direita) características do efeito fitotóxico do ozônio	17

MAPAS

Mapa 1 – Localização das estações de monitoramento de ozônio no Estado de São Paulo - 2014	24
Mapa 2 – Localização das estações de monitoramento de ozônio na RMSP - 2014.....	25
Mapa 3 – Distribuição espacial de AOT40 no Estado de São Paulo - média de 5 anos das máximas trimestrais - 2010/2014	55
Mapa 4 – Distribuição espacial de AOT40 na RMSP - média de 5 anos das máximas trimestrais - 2010/2014	55

TABELAS

Tabela 1 – Padrão estadual de qualidade do ar para o ozônio.....	19
Tabela 2 – Padrão nacional de qualidade do ar para o ozônio.....	20

Lista de Siglas

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
DATAGEO	Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo
EC	European Commission
EEA	European Environment Agency
EM	Estação Móvel
ICP Vegetation	International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
OMS (WHO)	Organização Mundial da Saúde
PCPV	Plano de Controle de Poluição Veicular
PQAr	Padrão de Qualidade do Ar
PREFE	Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias
QUALAR	Sistema de Informações de Qualidade do Ar da CETESB
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USP	Universidade de São Paulo
UV	Unidade Vocacional
VRPP	Valor de Referência para Proteção da Produtividade Agrícola
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

Lista de Símbolos

O ₃	Ozônio
NO	Óxido de nitrogênio
NO _x	Óxidos de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
AOT40	Accumulated dose over a threshold of 40 parts per billion (Concentração Acumulada acima de 40 partes por bilhão)

Sumário

1 Introdução	13
1.1 Poluente Atmosférico	13
1.2 O ozônio troposférico	13
1.2.1 Formação.....	13
1.2.2 Transporte	15
1.2.3 Efeitos à saúde	16
1.2.4 Efeitos à vegetação	17
2 Padrões de qualidade do ar e valores de referência para a proteção da vegetação..	19
2.1 Padrão estadual de qualidade do ar.....	19
2.2 Padrão nacional de qualidade do ar.....	20
2.3 Valores de referência para a proteção da vegetação	20
3 Metodologia.....	23
3.1 Monitoramento da Qualidade do Ar	23
3.2 Método de Cálculo da AOT40 Trimestral	26
3.3 Interpretação dos dados	26
4 Resultados	27
4.1 Condições meteorológicas de formação de ozônio	27
4.2 Valores de AOT40 trimestral	30
4.2.1 Região Metropolitana de São Paulo - RMSP	30
4.2.2 Baixada Santista	39
4.2.3 Interior – Unidade Vocacional Industrial	43
4.2.4 Interior – Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária	48
4.3 Análise de tendência da AOT40 trimestral	53
4.4 Distribuição espacial da AOT40 trimestral.....	54
4.5 Distribuição das concentrações horárias de ozônio	57
5 Conclusão	61
Referências	63
Apêndices	67
APÊNDICE A.....	67
APÊNDICE B.....	70

1 Introdução

O poluente atmosférico ozônio pode causar danos à saúde humana e, também, prejudicar a vegetação e os ecossistemas.

Através do conceito de valor de referência para proteção da vegetação busca-se o conhecimento da concentração mais baixa do ozônio capaz de produzir um efeito mensurável.

Na Europa, para uma abordagem de níveis críticos para proteger a vegetação da injúria por ozônio, tem sido aplicado o índice referente à exposição acumulada acima de 40 ppb (AOT40 - *Accumulated dose over a threshold of 40 parts per billion*). Tal índice é a soma da diferença entre as concentrações horárias de ozônio superiores a 40 ppb e o valor de 40 ppb, num determinado período.

Este relatório adota como valor de referência as concentrações de ozônio preconizadas pela Organização Mundial da Saúde - OMS, que indica a AOT40 de 3.000 ppb (ou aproximadamente $6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), acumulados durante o período de 3 meses, como Valor de Referência para Proteção da Produtividade Agrícola (VRPP).

As análises foram realizadas para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Baixada Santista e Interior (agrupadas nas Unidades Vocacionais Industrial, Em Industrialização e Agropecuária), para os anos de 2008 a 2014.

1.1 Poluente Atmosférico

Considera-se um poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, em quantidade, concentração ou características em desacordo com os níveis estabelecidos e que tornem ou possam tornar o ar:

- impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- inconveniente ao bem-estar público;
- danoso aos materiais, à fauna e flora;
- prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade

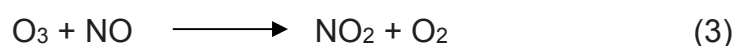
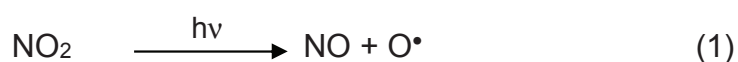
1.2 O ozônio troposférico

O ozônio está naturalmente presente na estratosfera, onde forma uma camada protetora contra os efeitos danosos da radiação ultravioleta, porém na troposfera é considerado um poluente. É um gás incolor e inodoro nas concentrações ambientais.

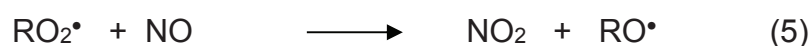
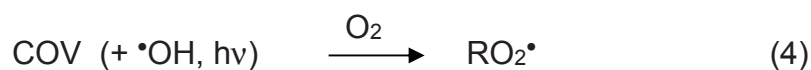
1.2.1 Formação

O ozônio é um poluente secundário, ou seja, não é emitido diretamente pelas fontes estacionárias ou móveis, mas formado na atmosfera mediante reação de gases precursores, provenientes de fontes antropogênicas ou naturais. É formado na troposfera por reações fotoquímicas, envolvendo os gases precursores: compostos orgânicos voláteis (COVs) e óxidos de nitrogênio (NOx), em presença de radiação solar, motivo pelo qual também se usa a designação poluente fotoquímico, que necessita da luz em seu ciclo de formação. Os óxidos de nitrogênio são provenientes de processos de combustão (veicular e industrial). Geralmente os teores de nitrogênio no óleo e no gás são bem inferiores ao do carvão.

Entretanto, há um processo adicional, no qual nitrogênio atmosférico e oxigênio combinam-se, durante processos de combustão a elevadas temperaturas, para formar óxidos de nitrogênio. Em sua maioria, os óxidos de nitrogênio formados por esta rota são emitidos como óxido nítrico (NO). Em menor proporção, são emitidos como dióxido de nitrogênio primário, assim, a maior proporção do dióxido de nitrogênio (NO₂) na atmosfera é secundária, resultado de reações químicas atmosféricas. Os compostos orgânicos voláteis (COVs) compreendem uma grande variedade de hidrocarbonetos, oxigenados, halogenados e outros compostos de carbono, presentes na atmosfera na fase vapor. As fontes predominantes são de origem industrial e veicular e incluem: queima de combustíveis e processos de queima que originam fragmentos de combustível não queimado ou parcialmente queimado, evaporação de combustível de tanques de veículos e de tanques de armazenamento, evaporação de solventes orgânicos, entre outras. A formação do ozônio na atmosfera inicia-se pela fotólise do NO₂. O produto desta reação, NO, reage rapidamente com O₃ para regenerar NO₂ (CETESB, 2000 e 2014a).

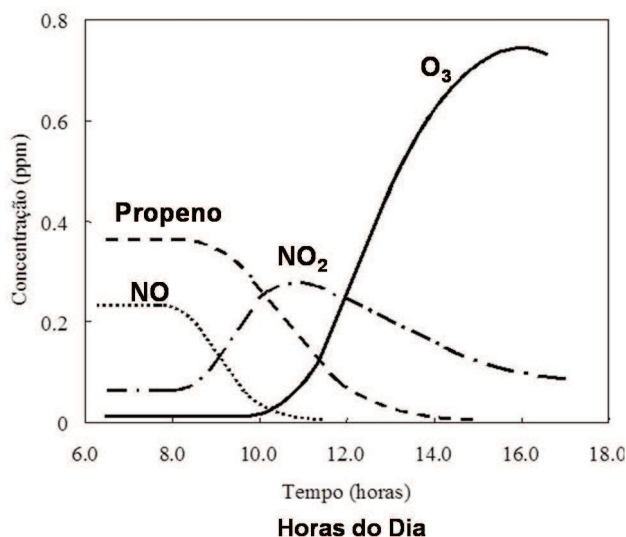


Dessa maneira, o O₃ mantém-se em estado estacionário, que depende da velocidade da fotólise do NO₂ e da razão [NO₂]/[NO]. Assim, se nenhum outro processo convertesse NO em NO₂, a concentração de ozônio não aumentaria significativamente. No entanto, na presença dos compostos orgânicos voláteis, as concentrações de ozônio aumentam, uma vez que NO é convertido a NO₂ 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 •OH ou sofrem fotólise para formar peróxiradicais (RO₂•), que posteriormente reagem com NO formando NO₂. 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.

Figura 1 – Perfil de concentração de espécies envolvidas no ciclo do ozônio obtido pela variação de intensidade da luz do dia, num sistema fechado



Fonte: USEPA (1996), adaptado por CETESB (2000)

Observa-se, no exemplo mostrado na figura 1, que o ciclo fotoquímico inicia-se com a conversão de NO a NO₂ pela reação com o propeno (COV), eq. (4) a (6). No decorrer do dia, conforme a intensidade da radiação solar aumenta, aumenta a fotólise do NO₂, e consequentemente a concentração de O₃ no sistema também aumenta, (eq. (1) e (2)). A diminuição na concentração de NO₂ somente ocorre após todo o NO ter sido consumido. A formação do ozônio próximo à superfície é extremamente influenciada pelas condições meteorológicas, como variação da nebulosidade, quantidade de radiação solar incidente, altas temperaturas, transporte atmosférico de precursores, bem como o transporte do próprio ozônio de uma região para outra (CETESB, 2000).

No Estado de São Paulo o ozônio apresenta, ao longo dos meses, uma distribuição de episódios totalmente distinta da dos poluentes primários. As maiores concentrações dos poluentes primários ocorrem no período de inverno e concentrações elevadas de ozônio ocorrem com maior frequência no período compreendido entre setembro e março (primavera e verão), meses mais quentes e com maior incidência de radiação solar no topo da atmosfera. Entretanto, nesse período a maior frequência deste poluente não ocorre necessariamente nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro), provavelmente em função do aumento da nebulosidade devido à atividade convectiva, que reduz a quantidade de radiação solar incidente no período da tarde e, consequentemente, diminui a formação do ozônio na baixa atmosfera. O maior número de ocorrências no Estado de São Paulo é registrado, geralmente, na transição entre os períodos seco e chuvoso (meses de setembro e outubro). As maiores concentrações horárias de ozônio são observadas no período das 13h às 17h (CETESB, 2000 e 2014a).

1.2.2 Transporte

A ocorrência de altas concentrações de O₃ 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. Ou seja, a 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, principalmente em locais distantes de vias de tráfego. Para o gerenciamento da qualidade do ar, no que concerne à redução dos níveis de ozônio, é útil considerar que a

concentração deste poluente na baixa atmosfera é devida a três componentes distintos: (1) basal, resultante de fontes biogênicas e estratosférico, (2) regional, fontes antropogênicas a mais de 100-200 km do receptor e (3) local, fontes locais a menos de 100-200 km do receptor.

$$O_3\text{Total} = O_3(\text{Basal}) + O_3(\text{Reg.}) + O_3(\text{Loc.}) \quad (7)$$

Considera-se como concentração basal a concentração resultante de fontes naturais de precursores, como fontes biogênicas e a intrusão de ozônio proveniente da estratosfera. O ozônio também é formado na troposfera, como resultado de reações químicas atmosféricas, que podem ocorrer em escalas de tempo de curto ou longo prazo. Escalas de longo prazo envolvem reações na atmosfera remota, por exemplo, sobre os oceanos, onde baixas concentrações de óxidos de nitrogênio interagem com metano e monóxido de carbono (fonte de peroxi radicais), aumentando os níveis de ozônio basal. Estas reações são relativamente lentas, porém são importantes por causa da disponibilidade do metano e do monóxido de carbono na atmosfera remota. A magnitude do ozônio basal pode ser estimada a partir dos resultados de monitoramento em locais distantes de influência de fontes antropogênicas. Já, a magnitude dos componentes regionais e locais é mais dificilmente estabelecida, entretanto esta avaliação é importante uma vez que muitas decisões sobre o gerenciamento da qualidade do ar envolvem esta escala espacial. Em atmosferas mais poluídas, há uma abundância de hidrocarbonetos mais reativos provenientes de fontes antropogênicas, que, na presença de elevadas concentrações de dióxido de nitrogênio e luz do sol, podem originar com relativa rapidez altas concentrações de ozônio, levando a uma poluição substancial. Isto pode ocorrer em escala regional quando as emissões de vários locais se combinam para formar uma atmosfera altamente poluída, na qual o ozônio se forma e é transportado através de longas distâncias. Por vezes, a concentração de ozônio na atmosfera urbana é menor do que em áreas rurais, pois o óxido nítrico emitido pelo tráfego consome o ozônio (CETESB, 2014a).

Embora não estejam disponíveis ferramentas precisas para se determinar a abrangência espacial/regional de cada estação de monitoramento de qualidade do ar do Estado de São Paulo para o ozônio, o critério para definição das sub-regiões no que diz respeito a esse poluente, que estabelece o território compreendido pelos municípios que, no todo ou em parte, estejam situados a uma distância de 30 (trinta) km da estação de monitoramento da qualidade do ar, conforme o Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/13 (SÃO PAULO, 2013), foi validado mediante análises estatísticas de dados de monitoramento disponíveis em várias estações que cobrem uma extensa área do estado (CETESB, 2014a).

1.2.3 Efeitos à saúde

O ozônio troposférico tem sua ação deletéria potencializada quando sua ocorrência cobre áreas densamente povoadas, havendo uma exposição de um número maior de receptores comuns, incluindo aqueles grupos humanos com maior sensibilidade a esse poluente (CETESB, 2014a).

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 ou de atividades ao ar livre (WHO, 1979).

1.2.4 Efeitos à vegetação

O ozônio é um dos mais fitotóxicos entre poluentes atmosféricos. O ozônio entra nas folhas através dos estômatos e espaços intercelulares, reage com a água formando espécies com alto potencial oxidativo, que podem atacar moléculas vitais e causar desequilíbrios bioquímicos (BULBOVAS et al., 2008), os quais podem levar a efeitos prejudiciais na fotossíntese, crescimento e até morte celular (ICP, 2012).

A resistência das plantas pode ser determinada por mecanismos que impeçam a absorção do ozônio e por mecanismos de desintoxicação do poluente (DAFRÉ, 2010). Ambos os tipos de resistência são determinados geneticamente e estão sujeitos a influências ambientais (DOMINGOS et al., 2002).

Um exemplo da influência de fatores ambientais é o fechamento dos estômatos, devido ao estresse hídrico ou altas concentrações de gás carbônico, que pode até proteger espécies sensíveis. Existem algumas evidências que o próprio ozônio pode induzir ao fechamento dos estômatos, e assim reduzir a quantidade de ozônio entrando nas folhas, além de contribuir para a resistência ao ozônio de certas espécies vegetais (HILL, HEGGESTAD e LINZON, 1970).

As injúrias aparentes causadas por ozônio podem ser divididas em quatro tipos: pigmentação (amarronzada), necrose, clorose e branqueamento/pontuação (HILL, HEGGESTAD e LINZON, 1970). A figura 2 mostra injúrias típicas de ozônio nas folhas de tabaco *Nicotiana tabacum* Bel W3, variedade comumente utilizada como bioindicadora desse poluente.

Figura 2 – Exemplos de *Nicotiana tabacum* Bel W3 com folhas saudáveis (esquerda) e com injúrias (direita) características do efeito fitotóxico do ozônio



Fonte: Setor de Águas Subterrâneas e do Solo – EQAA/CETESB

A magnitude desses efeitos danosos depende das espécies vegetais, do genótipo, da concentração de ozônio, duração da exposição e condições do clima e solo. Plantas são capazes de eliminar uma certa quantidade de ozônio, mas acima de uma certa quantidade podem ocorrer danos à vegetação. Todavia, se a concentração do ozônio é alta o suficiente para reduzir a fotossíntese, isto é, a fixação de CO₂ e/ou o crescimento aéreo da planta, então menos CO₂ e ozônio serão consumidos pela vegetação, podendo causar um aumento do CO₂ atmosférico, e, portanto, ao aquecimento global (ICP, 2012).

Mills, Waggs e Harmens (2013) relacionam os possíveis impactos da poluição por ozônio aos processos e serviços ecológicos (produtividade primária e ciclagem de carbono, ciclagem de nutrientes, da água e funcionamento dos estômatos), à biodiversidade e ao equilíbrio das espécies, às perdas na agricultura, à regulação dos ecossistemas (sequestro de carbono, aquecimento global, qualidade do ar, emissão de metano, ciclo da água, floração e polinização) e sobre os serviços culturais, incluindo lazer, recreação e comodidade.

2 Padrões de qualidade do ar e valores de referência para a proteção da vegetação

2.1 Padrão estadual de qualidade do ar

O Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/13 (SÃO PAULO, 2013), que tem como base as diretrizes estabelecidas pela OMS, estabeleceu novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo.

Este Decreto estabelece que a administração da qualidade do ar no território do Estado de São Paulo será efetuada através de Padrões de Qualidade do Ar, observados os seguintes critérios:

I. Metas Intermediárias - (MI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável;

II. Padrões Finais (PF) - Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

A tabela 1 apresenta os padrões de qualidade do ar para o ozônio estabelecidos no Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/13 (SÃO PAULO, 2013), sendo que o padrão vigente está assinalado em vermelho.

**Tabela 1 – Padrão estadual de qualidade do ar para o ozônio
(Decreto Estadual nº 59113, de 23/04/13)**

Poluente	Tempo de Amostragem	MI 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI 2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI 3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ozônio (O_3)	8 horas	140	130	120	100

Obs.: padrão vigente em vermelho.

As Metas Intermediárias devem ser atendidas em 3 (três) etapas, assim determinadas:

I. Meta Intermediária Etapa 1 - (MI1) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir de 24/04/2013;

II. Meta Intermediária Etapa 2 - (MI2) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA;

III. Meta Intermediária Etapa 3 - (MI3) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que o seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início da sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.

O padrão final (PF) passa a valer a partir do final do prazo de duração do MI3.

2.2 Padrão nacional de qualidade do ar

Os padrões nacionais de qualidade do ar (PQAr) são definidos na Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/90 (BRASIL, 1990). Na tabela 2 é apresentado o padrão nacional para o ozônio.

**Tabela 2 – Padrão nacional de qualidade do ar para o ozônio
(Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/90)**

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
ozônio	1 hora ¹	160	160

1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

2.3 Valores de referência para a proteção da vegetação

O ozônio, por seu caráter altamente oxidante, é capaz de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica das plantas. Pode, inclusive, afetar a produção agrícola, reduzindo a safra de forma discreta, mas economicamente significativa.

Estudos de modelagem da poluição atmosférica regional do Leste Asiático e China combinados com experimentos de campo e ensaios de dose/resposta quanto a sensibilidade das principais culturas ao ozônio concluíram que atualmente já ocorrem perdas nas culturas desta região, em particular para soja e trigo (AUNAN, BERNTSEN e SEIP, 2000 e WANG e MAUZERALL, 2004). Estes autores projetaram perdas de até 30% em 2020, com base nos cenários de emissão.

Na Europa, a partir de estudos utilizando espécies sensíveis a este poluente, foi definido um valor horário de concentração de ozônio na atmosfera acima do qual podem ocorrer efeitos adversos em plantas ou ecossistemas (ICP, 2008). A Concentração Acumulada de Ozônio Acima de 40 ppb (*Accumulated Dose Over a Threshold of 40 ppb.h*), denominada AOT40, foi adotada pela Comissão Econômica das Nações Unidas da Europa. O conceito de AOT40 é usado na Europa para mapear geograficamente áreas onde o ozônio troposférico excede níveis críticos, em relação à vegetação. Esta abordagem é delineada para implantar estratégias de controle para reduções de emissões dos poluentes precursores de ozônio.

A CETESB utiliza para proteção da vegetação, o Valor de Referência para Proteção da Produtividade Agrícola (VRPP) adaptado da recomendação proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e estabelecido com base na AOT40 (WHO, 2000). O VRPP é uma AOT40 de 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ de ozônio (ou aproximadamente 3.000 ppb.h) acumulada no período de 3 meses (AOT40 trimestral).

Atualmente, a Agência Ambiental Europeia (EEA) adota o valor de AOT40 trimestral (maio a julho) de 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ para proteção da vegetação (média de 5 anos), mas o objetivo a longo prazo é estabelecer um valor de AOT40 trimestral de 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, conforme preconizado pela Organização Mundial da Saúde. Os níveis médios de ozônio medidos em aproximadamente 200 estações rurais na Europa entre os anos de 1996 e 2002 estiveram pouco abaixo da AOT40 trimestral de 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, sendo que os valores máximos estiveram em torno de 24.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ nos anos de 2000 a 2002 (EEA, 2005).

Segundo o Relatório Anual de Poluição do Ar e Vegetação do período de 2004 e 2005 do Centro de Ecologia e Hidrologia de Bangor – Reino Unido (ICP, 2005), a AOT40 trimestral na Europa variou entre 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, obtida em Bangor (Reino Unido) e 27.400 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ em Cadenazzo (Suíça).

Há que se destacar a importância econômica dos efeitos do ozônio sobre a produtividade agrícola. Na Europa, o valor de AOT40 trimestral de 3000 ppb.h ($6.000\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) é associado a uma redução de 5% na produção agrícola e considerado como o nível crítico aceitável pela *International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops* (ICP, 2009).

A Europa, durante o período de 1990 a 2006, detectou os seguintes efeitos nas culturas e na vegetação natural devido ao ozônio (ICP, 2007): a) injúrias devido ao ozônio foram detectadas em 16 países; b) diminuição de biomassa e rendimento foram relatados no centro e Sudeste da Europa; c) mais de 80 espécies de vegetação natural mostraram sintomas incluindo espécies de campos, áreas úmidas e bordas florestais; d) acima de 30 espécies de culturas, incluindo trigo, milho, soja, batata, tomate, alface e chicória mostraram sintomas visíveis; e) em determinadas ocasiões, alguns episódios provocados pelo ozônio causaram tantos danos às folhas das culturas que estas acabaram não sendo comercializadas.

Dingenen et al. (2009) estimaram para o ano de 2010 uma perda devido ao ozônio de 14 a 26 bilhões de dólares baseado na diminuição da produção de quatro culturas: 7 a 12% para trigo; 6 a 16% para soja; 3 a 4% para arroz e 3 a 5% para milho.

Avnery et al. (2011) estimaram perdas anuais totais na agricultura devido ao ozônio entre 11 a 18 bilhões de dólares. As perdas por cultura seriam de 8,5 a 14% para soja, 3,9 a 15% para trigo e 2,2 a 5,5% para milho.

Além da produtividade, o ozônio também afeta a qualidade final do produto agrícola por modificar seus componentes, alterando notadamente a produção de proteínas, carboidratos e vitaminas (ASHMORE, 2005 apud BORTOLIN, 2014). Com a alteração da qualidade das espécies forrageiras, pode ocorrer redução da produção de leite e carne (VANDERMEIREN e PLEIJE, 2011 apud BORTOLIN, 2014).

No Brasil os estudos publicados e os efeitos sobre plantas cultivadas ainda são poucos e na sua maioria restritos à ambientes controlados (PIMENTEL, 2011). Alguns trabalhos realizados com espécies ou variedades comumente utilizadas relatam diferentes efeitos do ozônio no crescimento, atividade enzimática, fotossíntese e concluem que algumas dessas espécies/variedades, tais como manacá-da-serra, goiabeira, quiabo, feijão, poderiam ser utilizadas como bioindicadores da presença de ozônio, mas não foram identificados trabalhos que relacionam as possíveis perdas econômicas agrícolas com as concentrações de ozônio.

A CETESB realizou, nos últimos anos, estudos de biomonitoramento, por meio de campanhas de exposição da espécie *Nicotiana tabacum* L. Bel W3 como bioindicadora de ozônio troposférico, em algumas regiões do Estado de São Paulo. A metodologia utilizada tem como base a exposição por 28 dias de 6 indivíduos de tabaco em cada local selecionado. A avaliação do efeito do ozônio nos indivíduos de tabaco expostos em cada ponto de monitoramento foi realizada por meio de estimativa da percentagem da área foliar com injúrias visíveis. Esses estudos foram realizados na RMSP (CETESB, 1999), Biritiba-Mirim (CETESB, 2008), Brotas (CETESB, 2007), Cabreúva (CETESB, 2006), Rio Grande da Serra (CETESB, 2009) e Sorocaba (CETESB, 2004).

Os relatórios anuais de qualidade do ar de 2000 a 2010 apresentam os cálculos anuais de AOT40, por estação da rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, em comparação com o VRPP (CETESB, 2000-2014).

Este relatório apresenta a avaliação do potencial de efeitos adversos à vegetação devido ao ozônio troposférico no Estado de São Paulo a partir dos resultados obtidos na rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB no período de 2008 a 2014, considerando o VRPP.

3 Metodologia

3.1 Monitoramento da Qualidade do Ar

As estações da rede de monitoramento automático da qualidade do ar da CETESB se caracterizam pela capacidade de processar na forma de médias horárias, no próprio local e em tempo real, as amostragens realizadas a intervalos de cinco segundos. Estas médias são transmitidas para a central de telemetria e armazenadas em servidor de banco de dados dedicado, onde passam por processo de validação técnica periódica e, posteriormente, são disponibilizadas de hora em hora no endereço eletrônico da CETESB.

Os dados podem ser acessados no QUALAR – Sistema de Informações de Qualidade do Ar da CETESB, em <http://ar.cetesb.sp.gov.br/qualar/>. Anualmente os dados de monitoramento são consolidados no Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, no qual são apresentadas as comparações dos resultados com os padrões de qualidade do ar estabelecidos na legislação estadual e nacional (CETESB, 2000-2014).

O ultravioleta é o método de medição adotado pela CETESB para a determinação do ozônio.

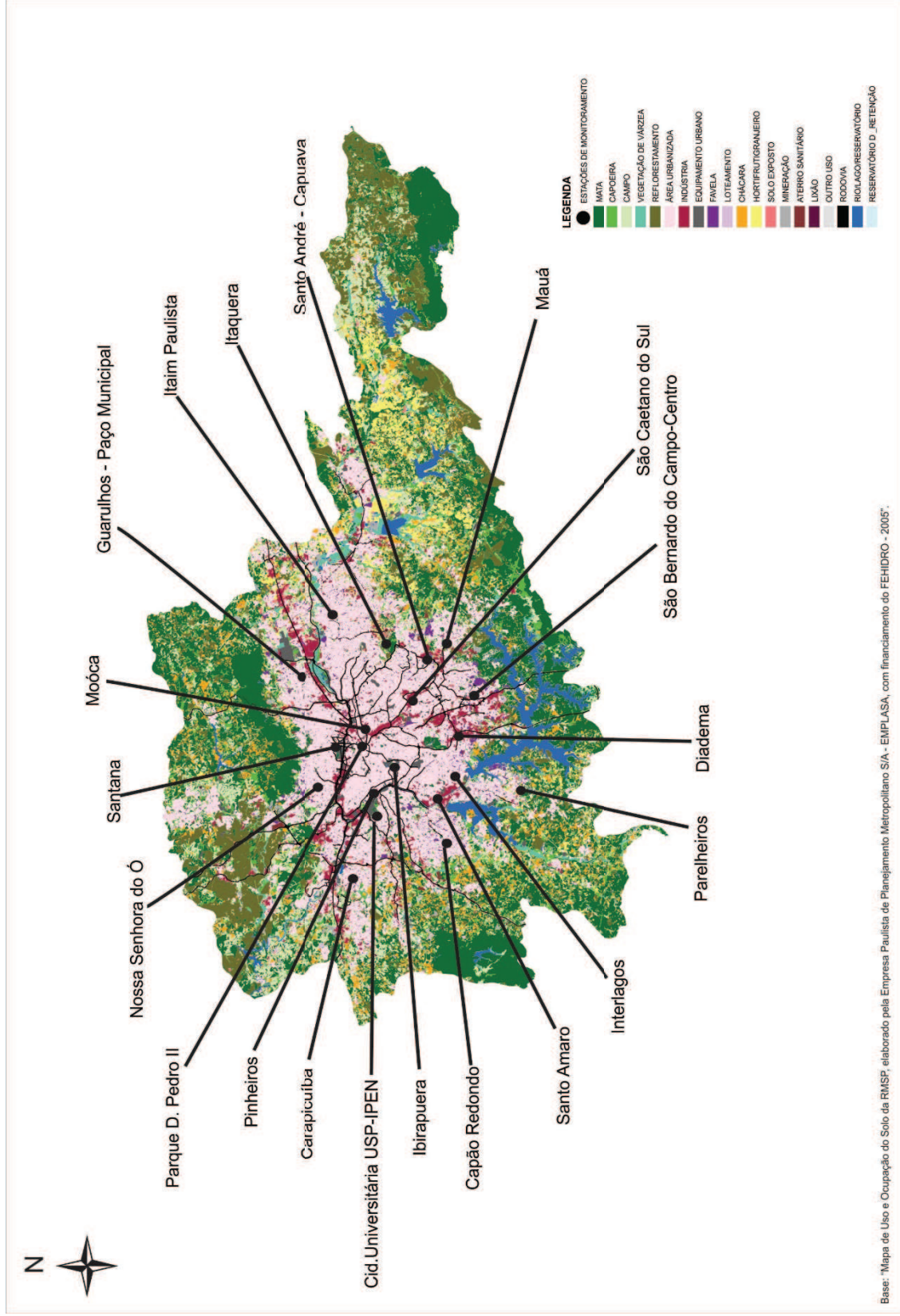
No mapa 1, a seguir, é apresentada a localização das estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB no Estado de São Paulo, que medem o parâmetro ozônio, e no mapa 2, as da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP. A relação de endereços das estações se encontra na tabela A do Apêndice A.

O mapa 2 apresenta também o uso e a ocupação do solo da RMSP. No Apêndice B é apresentado o mapeamento da cobertura da terra do Estado de São Paulo.

Mapa 1 – Localização das estações de monitoramento de ozônio no Estado de São Paulo - 2014



Mapa 2 – Localização das estações de monitoramento de ozônio na RMSP - 2014



3.2 Método de Cálculo da AOT40 Trimestral

A AOT40 de um determinado período é a somatória das diferenças entre as concentrações horárias de ozônio que excedem 40 ppb ou 78,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (considerando-se que as medições da CETESB são padronizadas para temperatura de 298 K e pressão de 760 mmHg). Por exemplo, se a concentração medida de ozônio em uma hora for 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a AOT40 será de 11,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$.

Para o cálculo das AOT40 trimestrais, foram adaptados os critérios da Diretiva Europeia 2008/50/EC (EUROPE, 2008) que considera as concentrações de ozônio acima de 40 ppb.h entre 08:00h e 20:00h do trimestre.

Neste estudo foram considerados os seguintes critérios:

- existência de pelo menos 70% dos dados horários no trimestre;
- período entre 08:00h e 20:00h.

Os valores de AOT40 são obtidos após aplicação de um fator de correção, conforme equação a seguir, descrita nesta mesma Diretiva:

$$AOT40(\text{estimado}) = AOT40(\text{medido}) \times N^{\circ} \text{ total de horas possíveis} / N^{\circ} \text{ de horas medidas} \quad (8)$$

3.3 Interpretação dos dados

As estações de monitoramento da qualidade do ar foram agrupadas em Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Baixada Santista e Interior, este último foi subdividido em Vocacional Industrial e Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária.

A partir dos valores de AOT40 trimestral foram realizadas as seguintes análises:

- a) Variação anual por estação de monitoramento;
- b) Valores máximos no semestre por estação de monitoramento;
- c) Tendência das médias anuais da RMSP, conforme metodologia reportada no relatório anual do ICP (2015);
- d) Distribuição espacial em quatro classes da média de 5 anos (2010 a 2014) dos valores máximos por estação de monitoramento;
- e) Também foi analisada a tendência das concentrações horárias de ozônio ao longo dos anos, em faixas específicas.

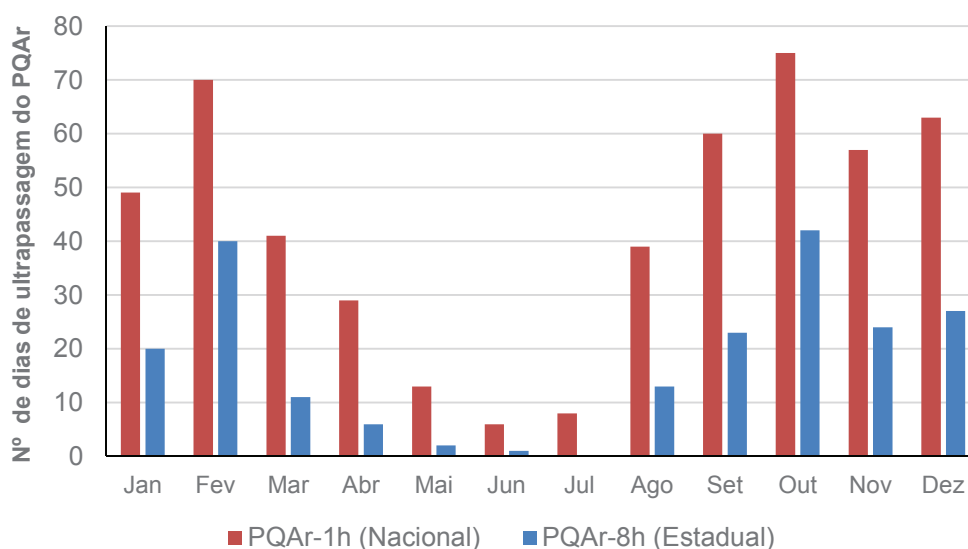
4 Resultados

A seguir, são apresentadas resumidamente as condições meteorológicas para a formação de ozônio troposférico em cada ano; gráficos de valores de AOT40 trimestral para cada estação de qualidade do ar, agrupadas por ano e por região do Estado; e, para cada estação, gráficos de valores máximos no semestre de AOT40 trimestral, no período de 2008 a 2014.

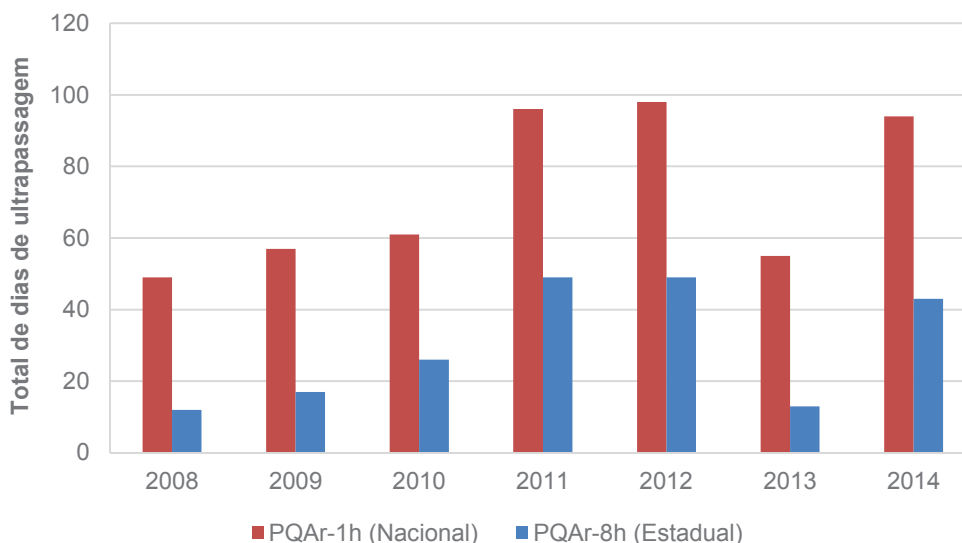
4.1 Condições meteorológicas de formação de ozônio

O ozônio apresenta, ao longo do ano, uma distribuição de episódios totalmente distinta dos poluentes primários, uma vez que este poluente é formado na atmosfera através de reações fotoquímicas que dependem da radiação solar, dentre outros fatores. Desse modo, em geral nos meses de janeiro a março e de setembro a dezembro são observadas as maiores concentrações deste poluente no Estado de São Paulo. Para exemplificar, no gráfico 1 é apresentado o número acumulado de dias de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar para ozônio estabelecido na Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/90 (BRASIL, 1990) de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 1 hora e no Decreto Estadual 59.113/2013 (SÃO PAULO, 2013) de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 8 horas, na RMSP, por mês, no período de 2008 a 2014. O gráfico 2 mostra o total de dias de ultrapassagem do padrão na RMSP.

Gráfico 1 – Número de dias de ultrapassagem do PQAr, por mês – RMSP – 2008 a 2014



Fonte: elaboração CETESB (2016)

Gráfico 2 – Total de dias de ultrapassagem do PQAr, por ano – RMSP

Fonte: elaboração CETESB

A seguir é apresentado um resumo das condições meteorológicas que influenciaram na formação de ozônio, em cada ano, no período de 2008 a 2014, baseado nas análises nos relatórios de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. (CETESB 2000-2014).

- Em 2008, houve menor frequência de eventos de altas concentrações de ozônio na RMSP, em virtude de, nos períodos de maior ocorrência deste poluente (jan-mar e out-dez), ter havido muitos dias de precipitação, com um maior número de horas de nebulosidade, principalmente à tarde e, conseqüentemente, redução da radiação solar incidente, que é um dos mais importantes parâmetros na formação de O₃. Em 2008 foram observados 103 dias com ocorrências de chuvas.
- Em 2009, houve um ligeiro aumento de ocorrência de eventos de altas concentrações de ozônio na RMSP em relação a 2008, apesar de 2009 ter sido caracterizado como muito chuvoso na região, com precipitações mensais acima das médias climatológicas, notadamente, nos meses de setembro a dezembro. Essas precipitações foram ocasionadas por linhas de instabilidade que se formavam pela manhã nas regiões norte e noroeste do Estado e, no decorrer do dia, se deslocavam em direção a leste e sudeste, alcançando a RMSP somente no final da tarde e noite, ocasionando um aumento da nebulosidade e da precipitação neste período, porém, durante o período do dia propício à formação do ozônio, houve radiação solar suficiente para a produção fotoquímica do poluente em questão.
- Em 2010, nos meses de janeiro a março e dezembro, nos quais geralmente ocorrem altas concentrações de ozônio, ocorreram muitos dias de precipitação, com muitas horas de nebulosidade, principalmente à tarde, provocando a redução da radiação solar incidente, que é um dos mais importantes parâmetros na formação deste poluente. Esse aumento da nebulosidade esteve associado com a formação de linhas de instabilidade, principalmente nas regiões oeste, noroeste, norte e leste do Estado, propiciando uma diminuição de ocorrência de altas concentrações de ozônio. Entretanto, os eventos meteorológicos ocorridos em agosto e início de setembro tiveram um peso significativo no aumento das concentrações de ozônio em todo o Estado de São Paulo durante o ano, com destaque para a RMSP, que apresentou um ligeiro aumento no número de dias de ultrapassagens do PQAr de ozônio em relação a 2009.

- Em 2011, na RMSP, apesar das chuvas registradas no primeiro e quarto trimestre do ano terem sido próximas às normais climatológicas, com exceção de janeiro que foi mais chuvoso, essas chuvas podem ter ocorrido no final da tarde, após o período do dia propício à formação do ozônio, uma vez que foram observadas diversas ultrapassagens do padrão nestes trimestres. No período de inverno também foi constatada a ocorrência de episódios de ozônio e uma possível explicação para este comportamento reside no fato que, nos meses de julho, agosto e, em especial, em setembro, houve longos períodos de estiagem na RMSP, nos quais a temperatura máxima, em muitos dias, foi superior à média climatológica, sendo possível inferir que houve muitas horas de insolação, levando a uma maior formação de ozônio. Foi observado, na RMSP, um aumento de episódios de ultrapassagem do padrão de ozônio em relação a 2010. No interior, foi observada a ocorrência de muitos dias de precipitação pluviométrica nesses meses, notadamente entre janeiro e março, o que pode ter acarretado horas de nebulosidade, diminuindo, dessa forma, a radiação solar incidente, que tem um papel fundamental na formação deste poluente. Essas precipitações, e o consequente aumento da nebulosidade estiveram associadas com a formação de linhas de instabilidade decorrentes de episódios de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS, principalmente nas regiões oeste, noroeste, norte e centro do Estado, propiciando uma ligeira diminuição das ultrapassagens do padrão de ozônio no interior do Estado, quando comparado com o ano de 2010.
- Em 2012, ocorreram as seguintes situações para o ozônio: no mês de janeiro as precipitações registradas em todo o Estado de São Paulo, devidas em parte à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul, ficaram bem acima das médias esperadas para o mês, o que pode ter favorecido a formação de muita nebulosidade e, como consequência, menor incidência de radiação solar, o que ocasionou um menor número de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar de ozônio. Os meses de fevereiro e março foram caracterizados pela diminuição das precipitações, o que pode ter criado situações meteorológicas, como diminuição de nebulosidade e maior radiação solar incidente, que propiciaram condições meteorológicas para a formação de ozônio. De abril a junho, os índices pluviométricos foram superiores às normais climatológicas para esses meses. O período entre a segunda quinzena de julho até meados de setembro foi marcado por estiagem, com as médias das temperaturas superiores aos valores históricos acarretando, em vários dias, condições meteorológicas propícias à formação de ozônio próximo à superfície, principalmente em setembro. No último trimestre, nos meses de outubro e dezembro, houve uma diminuição das precipitações e um aumento da média das temperaturas máximas em relação à climatologia desses meses, o que resultou em vários dias de ultrapassagem do padrão de qualidade de ozônio, notadamente no mês de outubro.
- Em 2013, de maneira geral, as condições meteorológicas nesse ano foram de ocorrência de chuvas organizadas e a consequente formação de nebulosidade, notadamente no primeiro e quarto trimestre do ano, nos quais geralmente ocorrem altas concentrações de ozônio. Estas condições inibiram a formação de ozônio em concentrações elevadas neste ano, reduzindo o número de dias de eventos relacionados a este poluente.
- Em 2014, de maneira geral, as precipitações ocorridas durante os primeiros dez meses em análise foram, na maior parte do tempo, abaixo das médias esperadas para cada mês. Nos meses de janeiro, fevereiro e outubro, as médias das temperaturas máximas foram superiores às normais climatológicas. As condições meteorológicas observadas permitiram inferir que, nos meses citados, houve diminuição no número de dias com nebulosidade e, conseqüentemente, maior incidência de radiação solar e condições mais propícias à formação de ozônio, principalmente no período compreendido entre o final do mês de janeiro e início do mês de fevereiro e no período entre os dias 8 e 19 de outubro.

4.2 Valores de AOT40 trimestral

Neste item são apresentados os valores de AOT40 trimestral comparados com o Valor de Referência para Proteção da Produtividade Agrícola – VRPP de 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, calculados para todas as estações com monitoramento representativo da RMSP, Baixada Santista e Interior (agrupadas nas Unidades Vocacionais Industrial, Em Industrialização e Agropecuária), para os anos de 2008 a 2014.

4.2.1 Região Metropolitana de São Paulo - RMSP

Nos gráficos 3 a 9 são apresentados os valores de AOT40 trimestral das estações da RMSP, em cada ano.

Durante o período de 2008 a 2014, nota-se que a ocorrência dos maiores valores das ultrapassagens do VRPP foi em 2011, 2012 e 2014.

No primeiro semestre, os maiores valores de AOT40 trimestral foram observados na estação Ibirapuera em 2011; e, no segundo semestre, na estação Cidade Universitária USP-IPEN em 2014.

Os anos de 2008 e 2009, que foram anos mais chuvosos, apresentaram os menores valores de AOT40 trimestral.

Gráfico 3 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2008

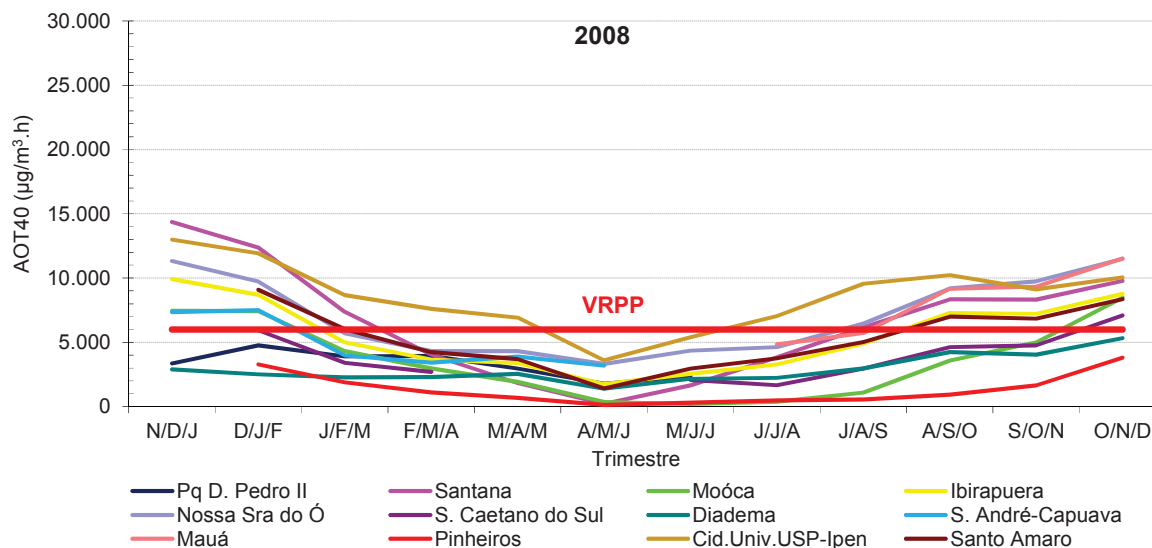


Gráfico 4 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2009

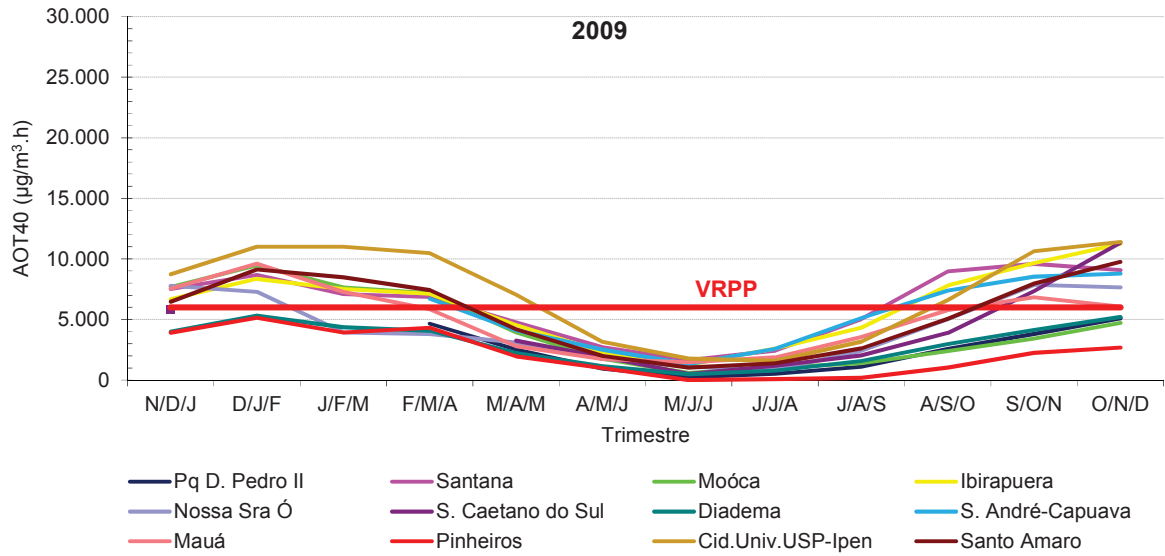


Gráfico 5 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2010

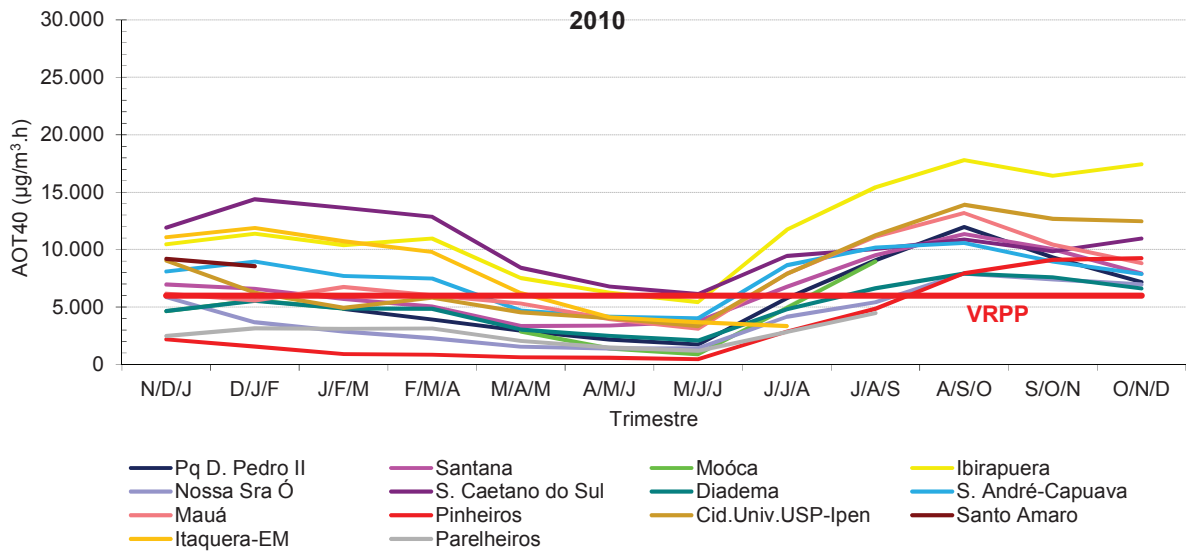


Gráfico 6 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2011

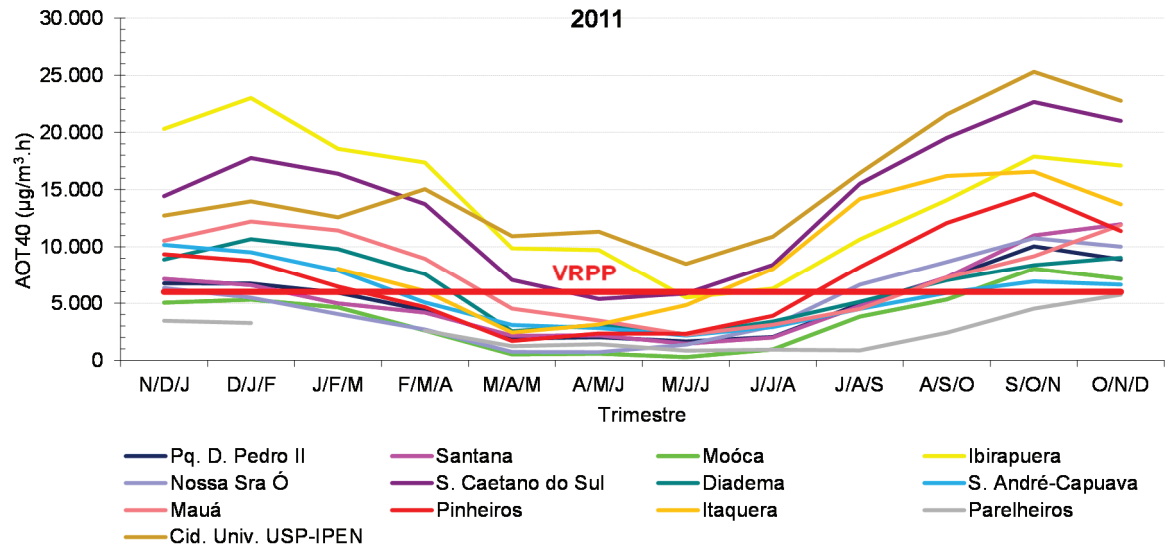


Gráfico 7 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2012

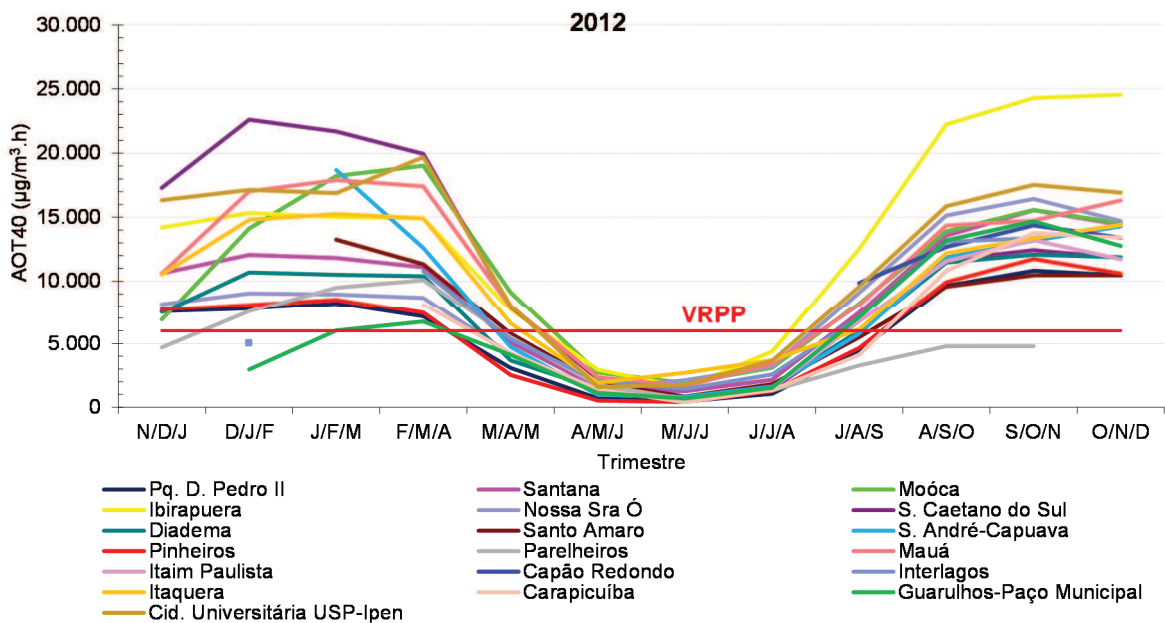


Gráfico 8 - Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2013

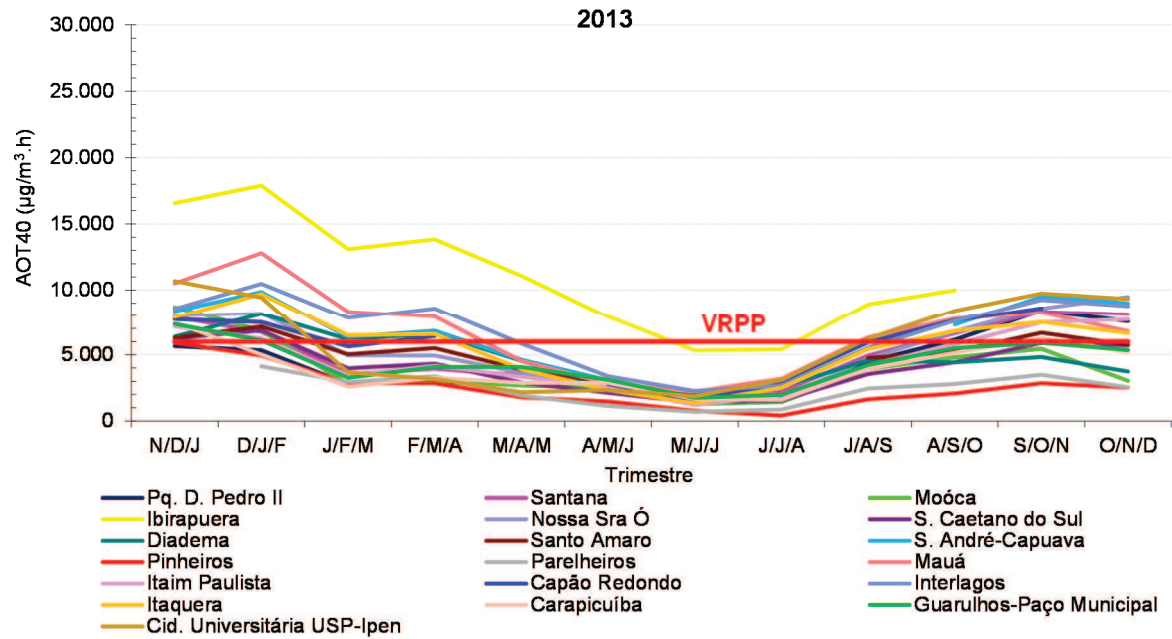
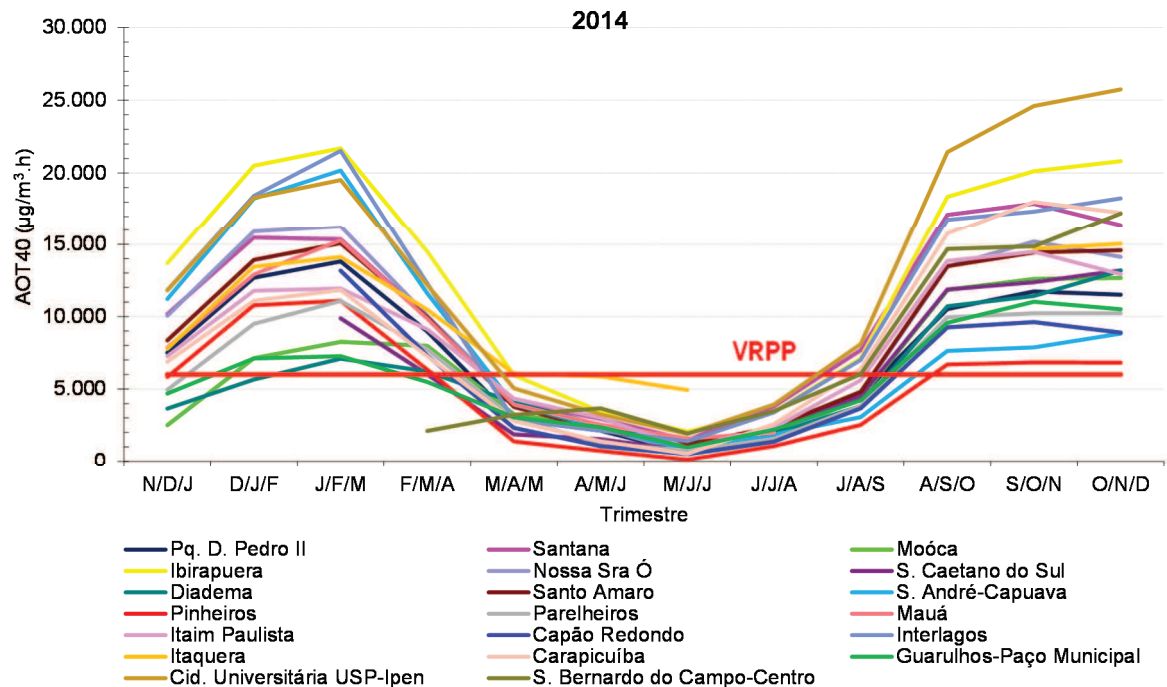


Gráfico 9- Valores de AOT40 trimestral – RMSP – 2014



A seguir são apresentados os valores máximos por semestre e a variação anual das AOT40 trimestral, do período de 2008 a 2014, para cada estação da RMSP (Gráfico 10).

Das vinte estações monitoradas em 2014, doze possuem registro desde 2009. Houve ultrapassagem do VRPP em todas as estações da RMSP, durante o período. Entre essas, as maiores máximas foram encontradas na Cidade Universitária USP-IPEN, Ibirapuera e São Caetano de Sul.

Todas as estações da RMSP apresentaram os menores valores de AOT40 trimestral nos meses de inverno (Gráfico 10).

De acordo com a Diretiva Europeia 2008/50/EC (EUROPE, 2008), o limite atual de AOT40 trimestral é de 18.000 µg/m³ (considerando a média de 5 anos dos valores obtidos de maio a julho), sendo que o objetivo a longo prazo é que ele não ultrapasse o valor de 6.000 µg/m³. As estações que apresentaram pelo menos um valor máximo de AOT40 trimestral acima de 18.000 µg/m³.h foram Cidade Universitária USP-IPEN, Ibirapuera, Interlagos, Moóca, São Caetano do Sul, Santo André-Capuava e Carapicuíba.

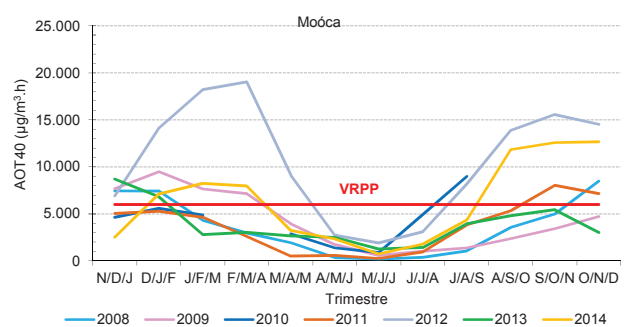
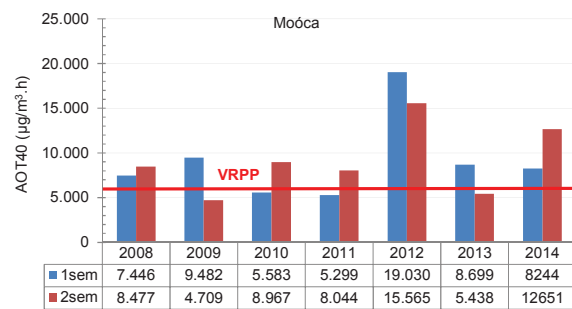
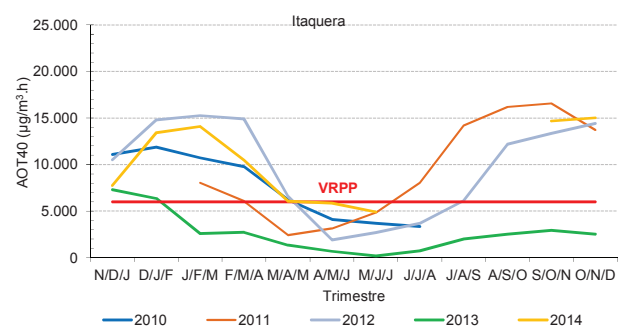
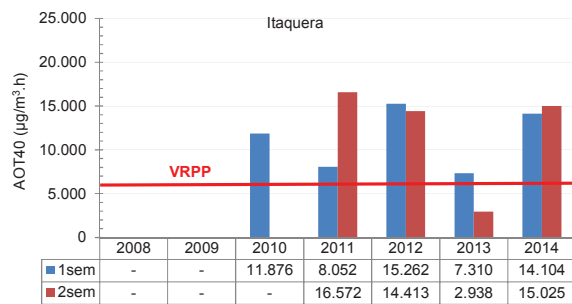
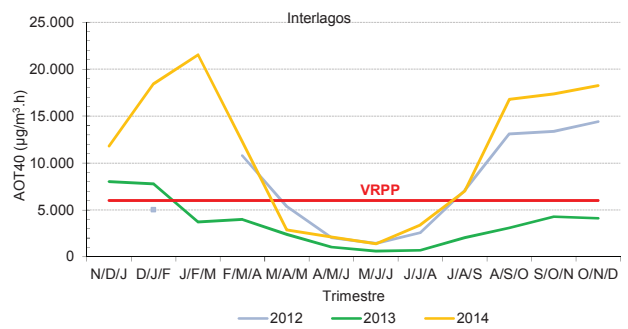
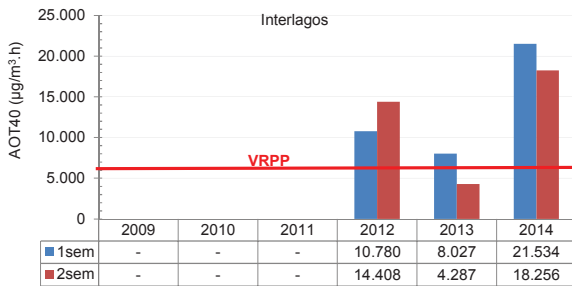
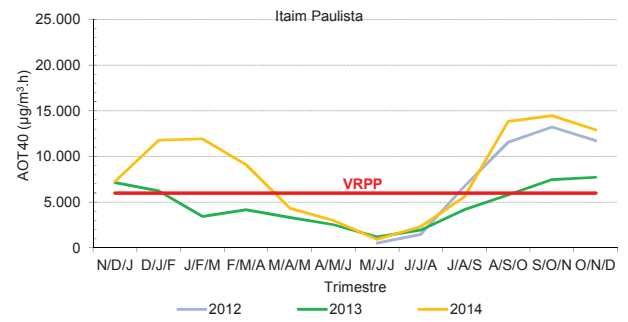
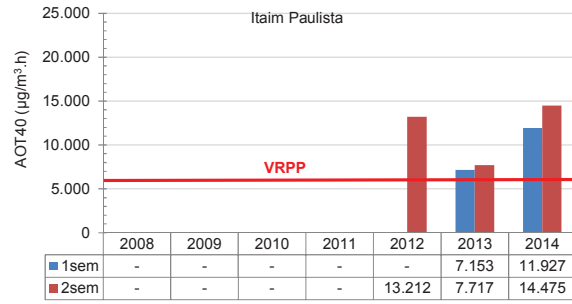
Gráfico 10 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – RMSP



(continua)

Gráfico 10 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – RMSP

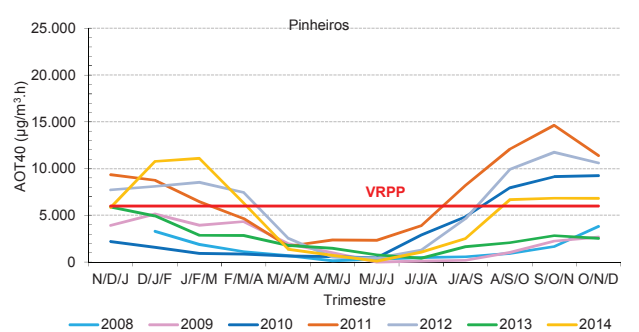
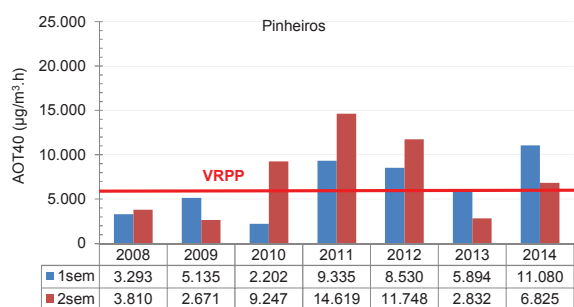
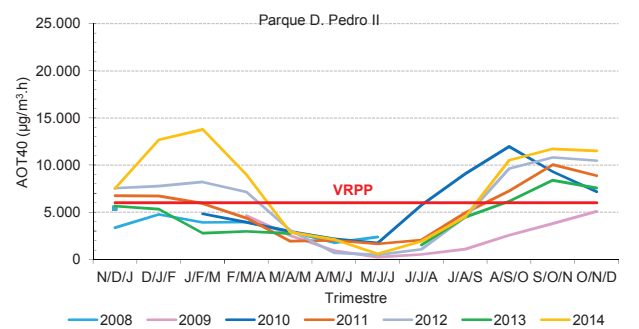
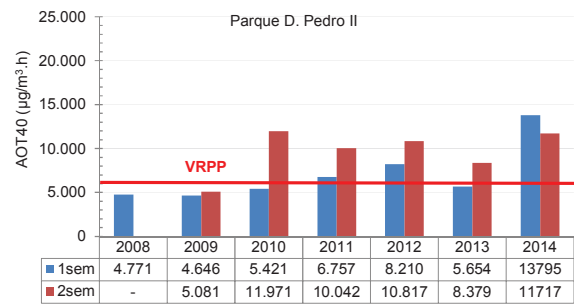
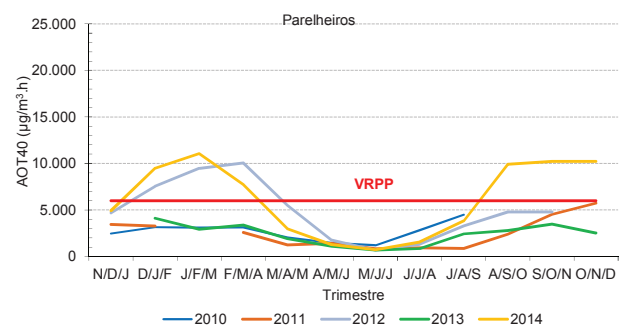
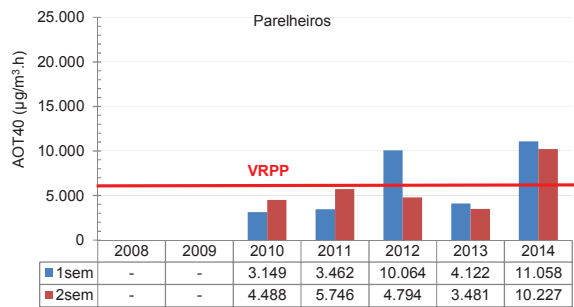
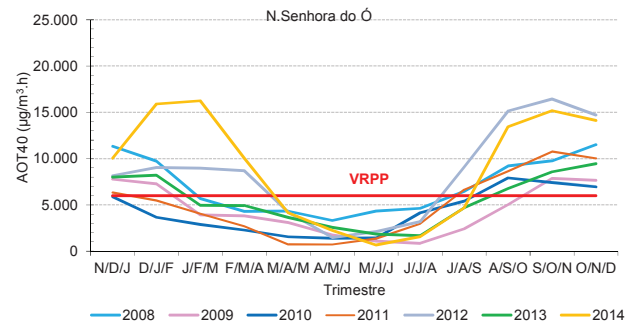
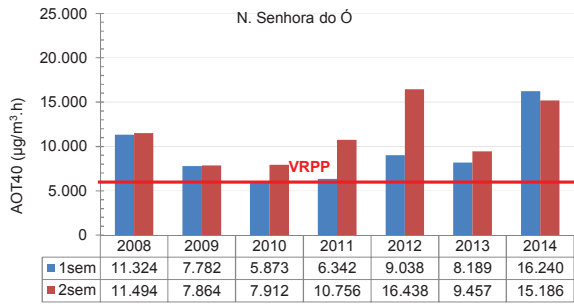
(continuação)



(continua)

Gráfico 10 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – RMSP

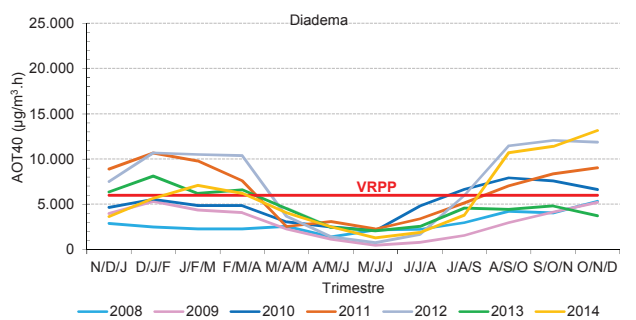
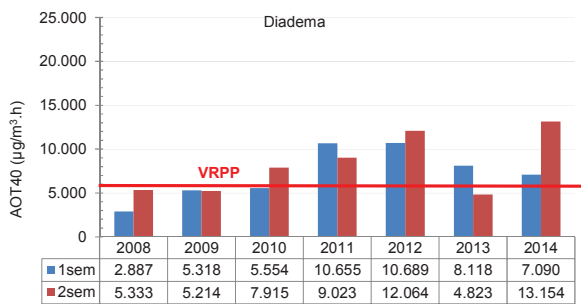
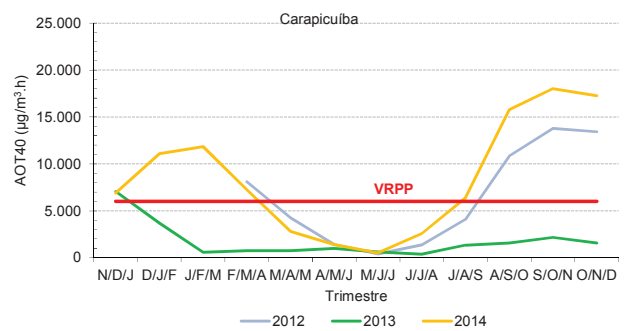
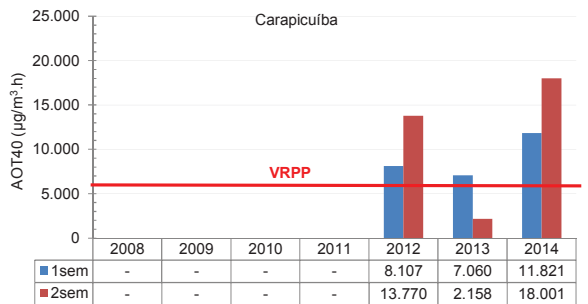
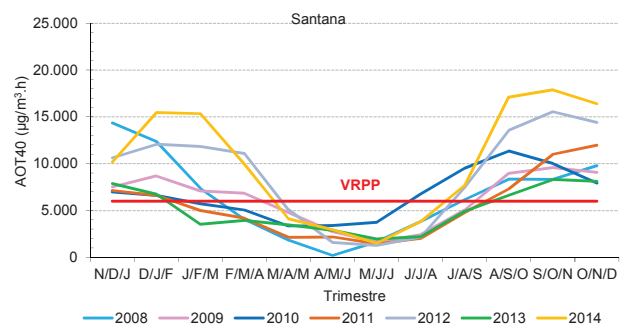
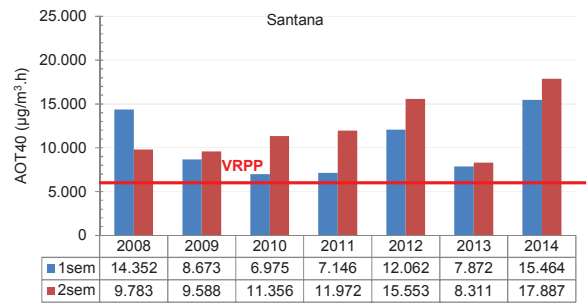
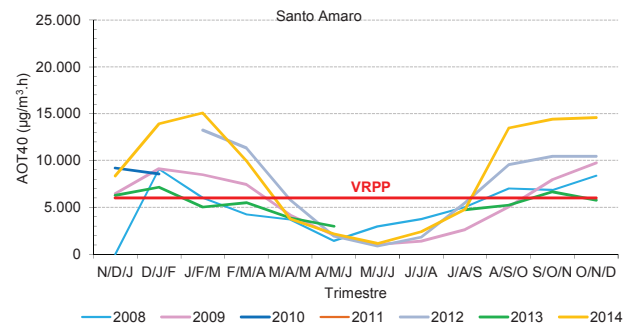
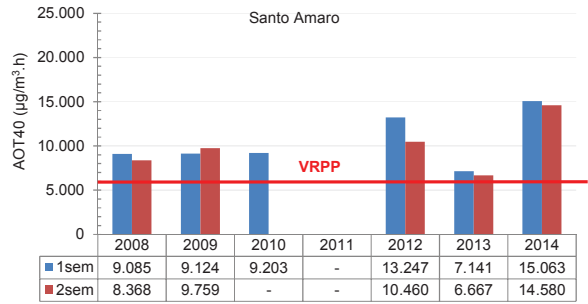
(continuação)



(continua)

Gráfico 10 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – RMSP

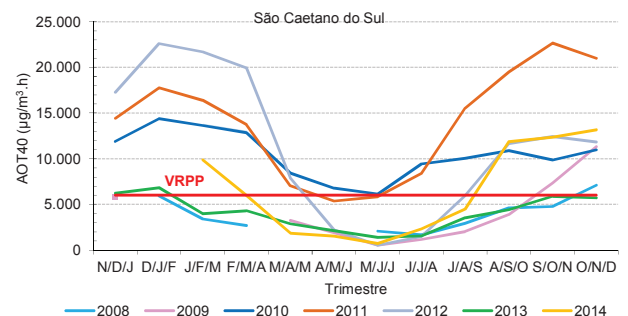
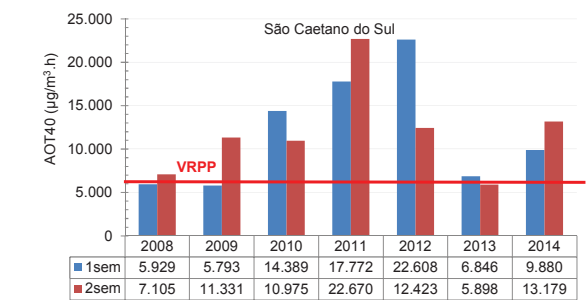
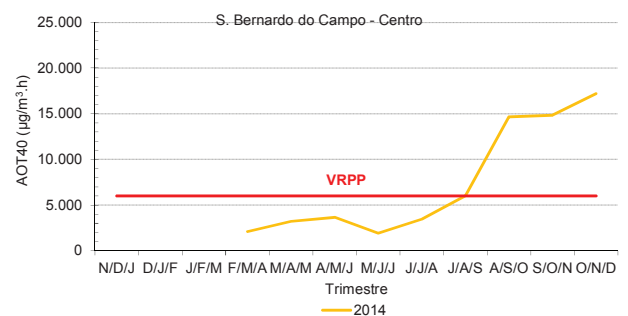
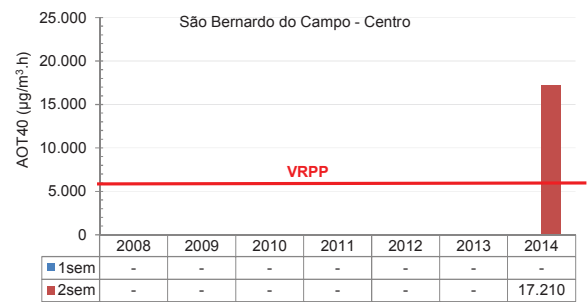
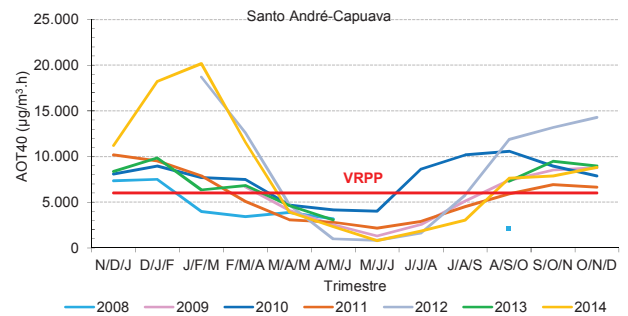
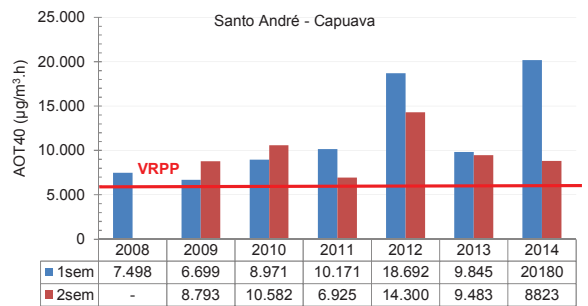
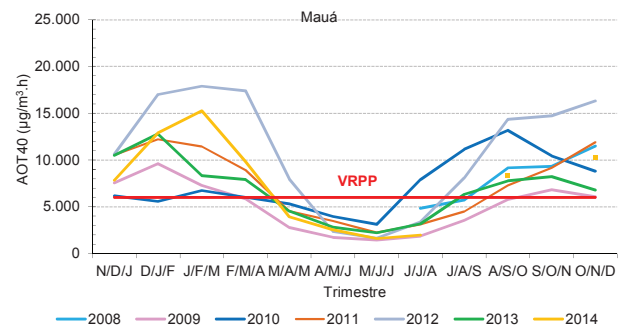
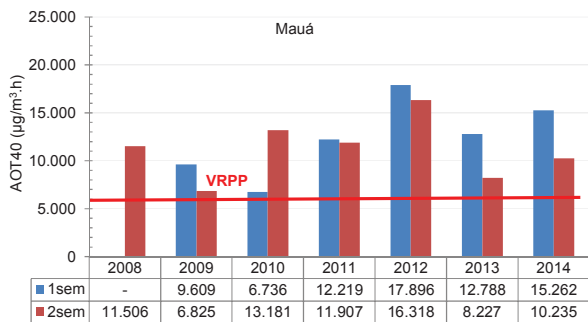
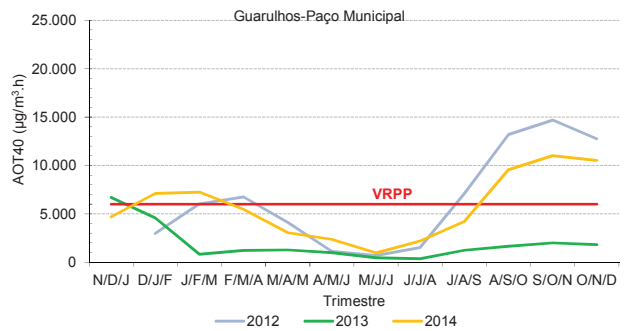
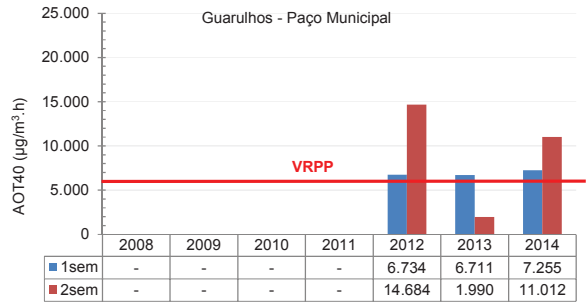
(continuação)



(continua)

Gráfico 10 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – RMSP

(conclusão)



4.2.2 Baixada Santista

Como pode ser visualizado nos gráficos 11 a 17, a Baixada Santista possui quatro estações de monitoramento com medição de ozônio. Em Cubatão, na estação Cubatão-Centro foram observados valores de AOT40 trimestral acima do VRPP em 2010, 2011 e 2014; na estação Cubatão-Vale do Mogi, que iniciou monitoramento em 2009, houve um único valor de AOT40 trimestral superior ao VRPP em 2010.

Em 2011 foi iniciado monitoramento na estação Santos e, em 2012, o monitoramento de ozônio na estação Santos-Ponta da Praia, entretanto, nessas estações os valores de AOT40 trimestral estão abaixo do VRPP.

Gráfico 11 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2008

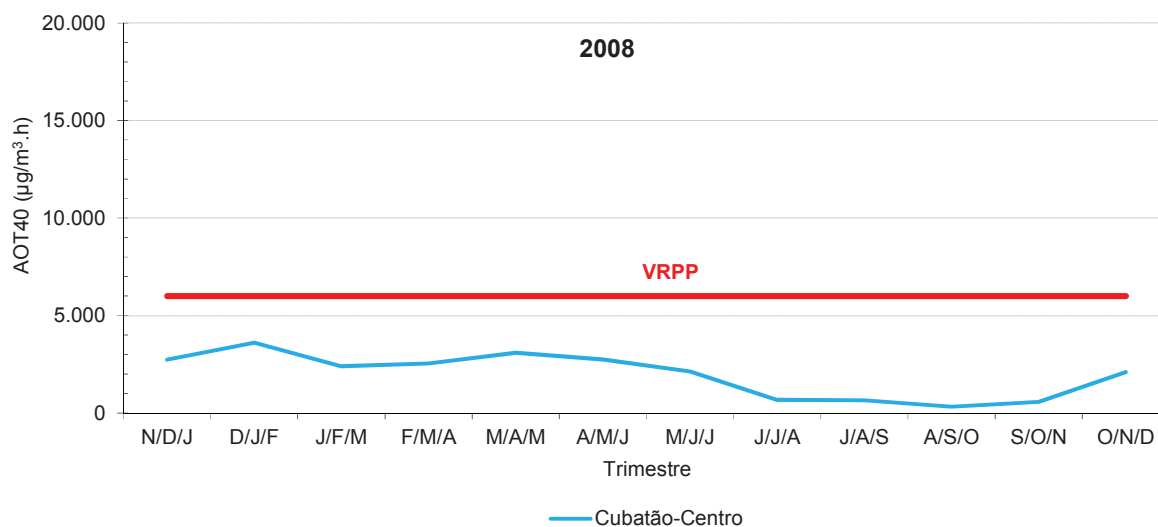


Gráfico 12 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2009

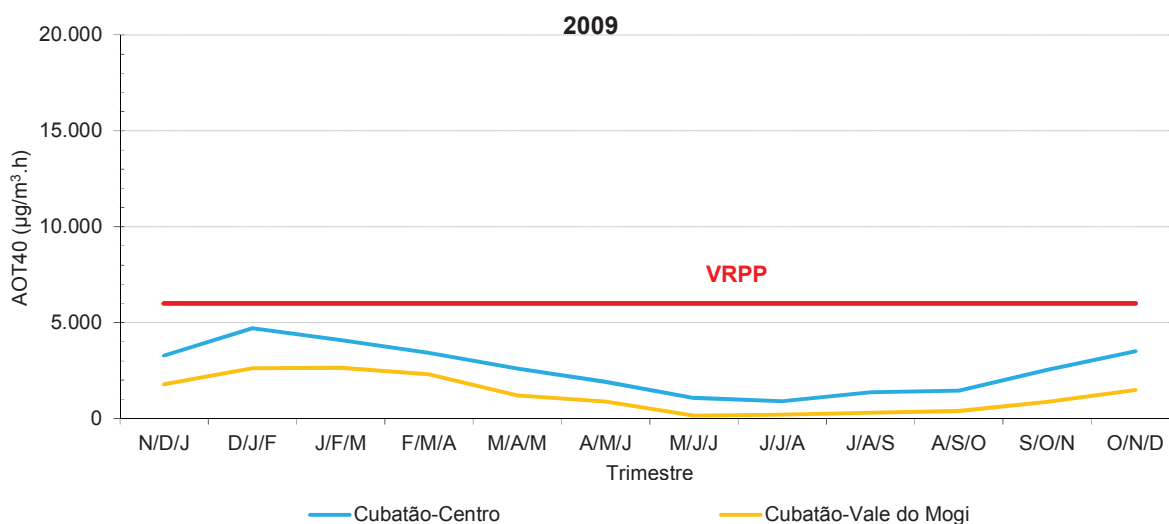


Gráfico 13 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2010

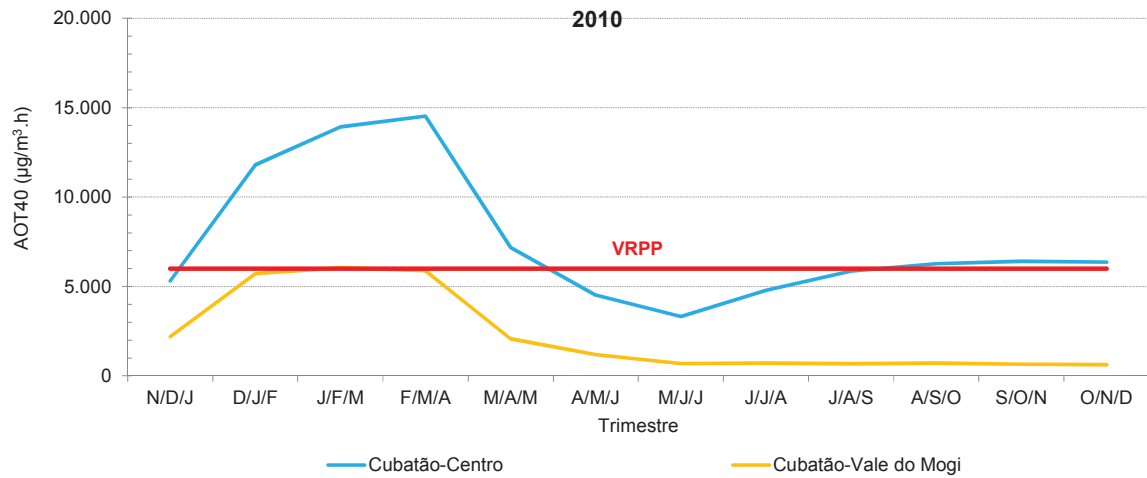


Gráfico 14 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2011

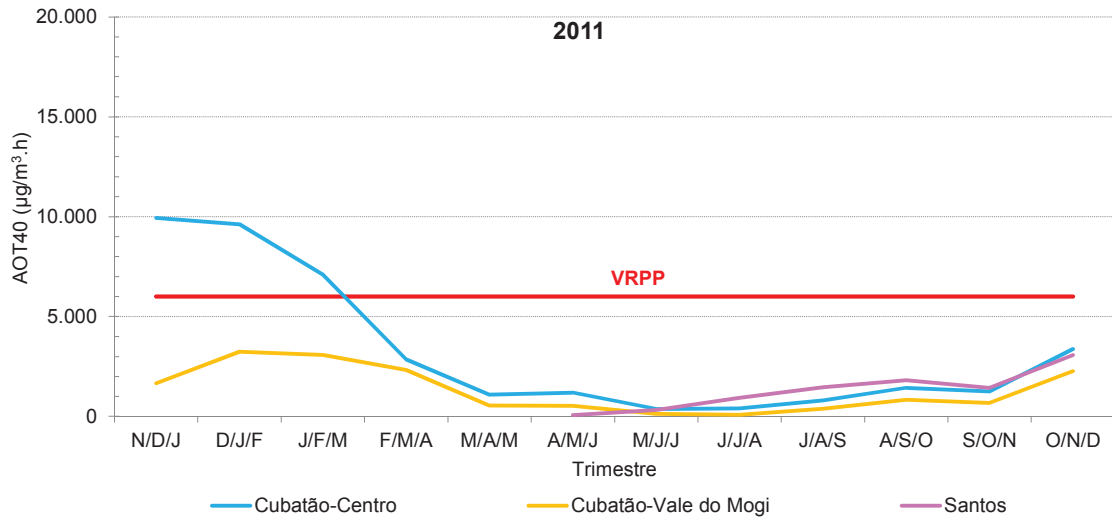


Gráfico 15 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2012

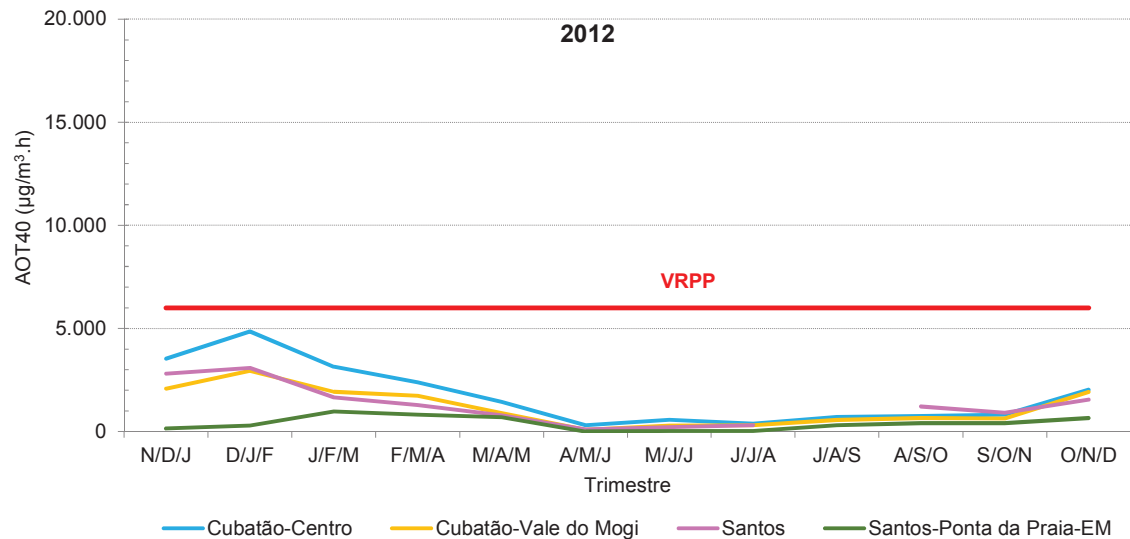
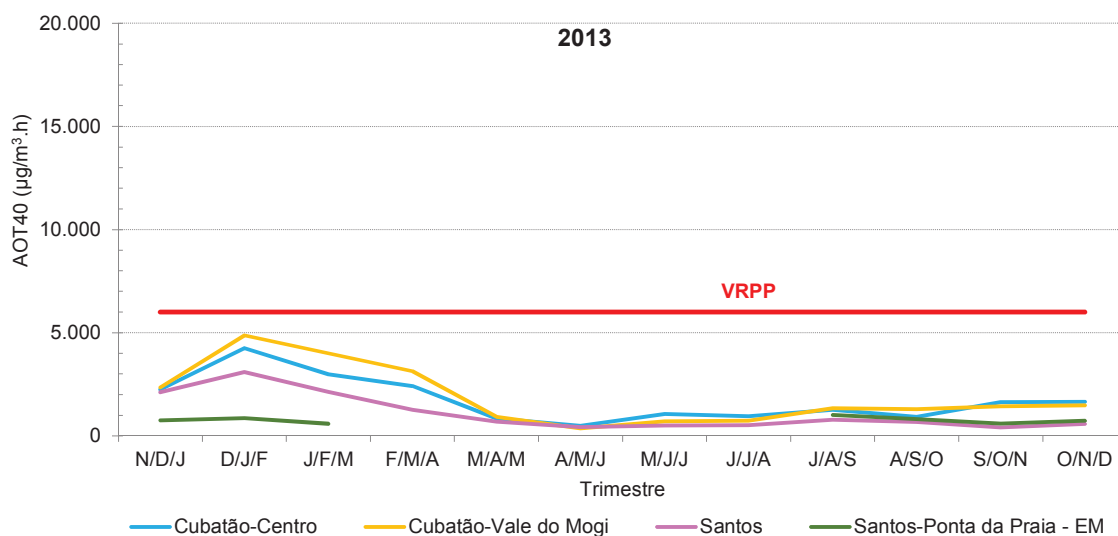
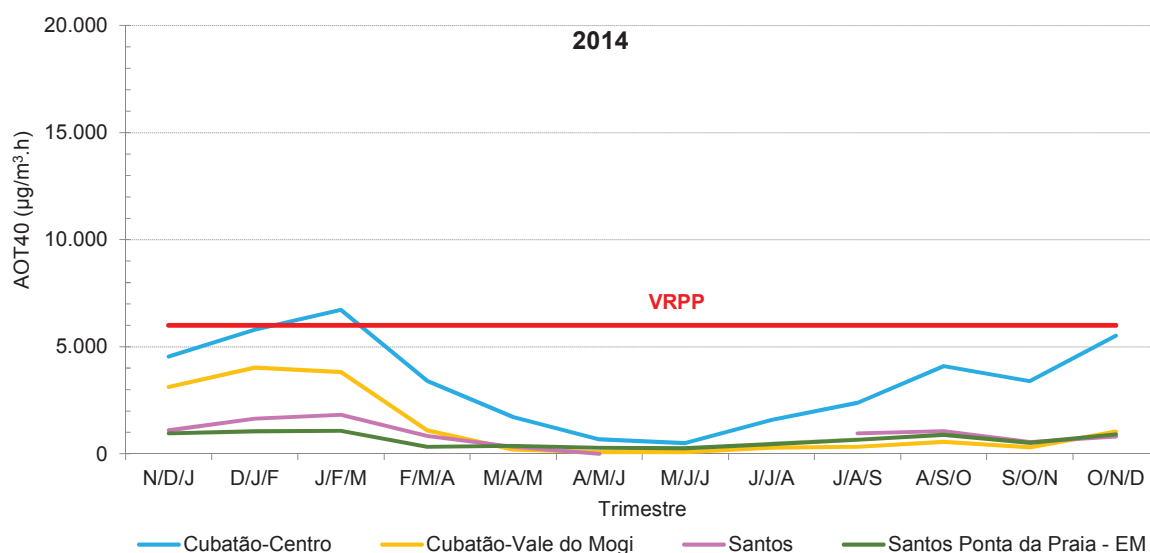
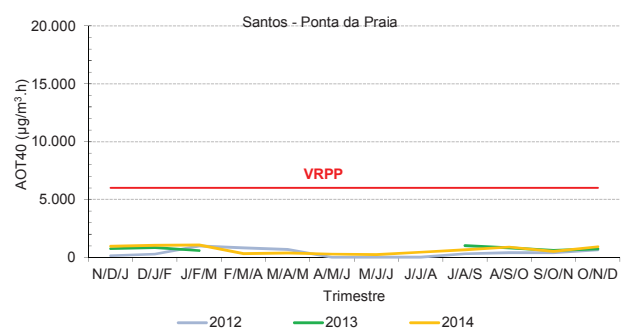
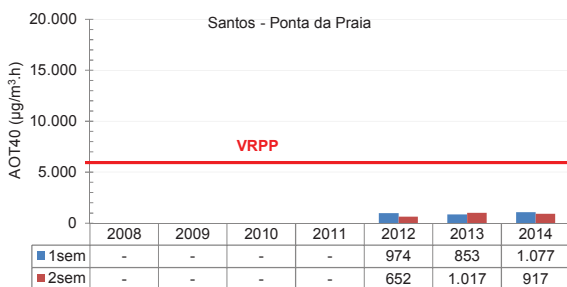
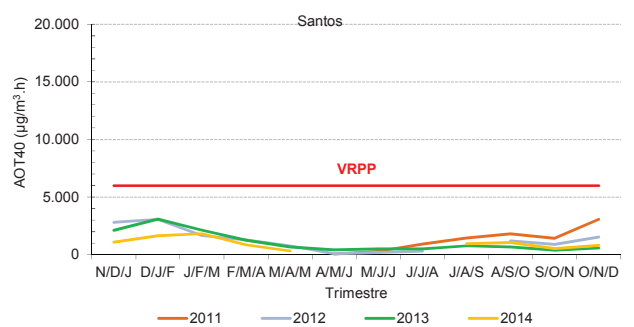
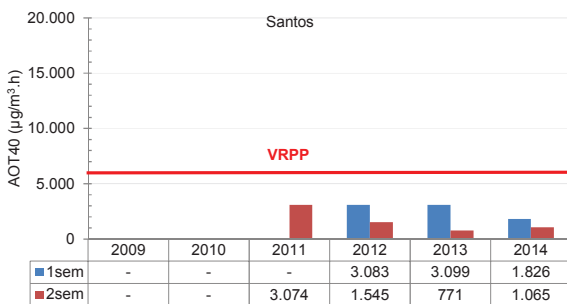
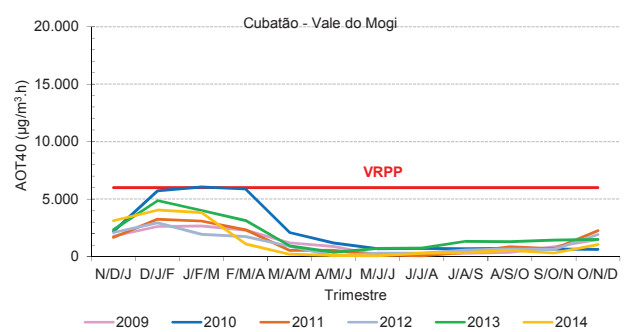
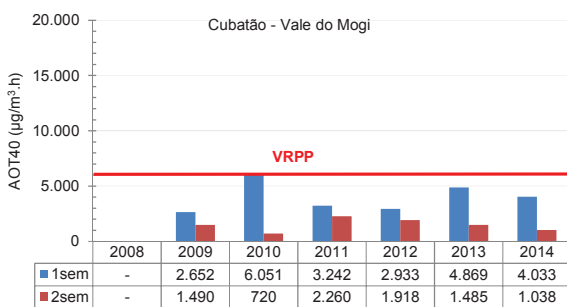
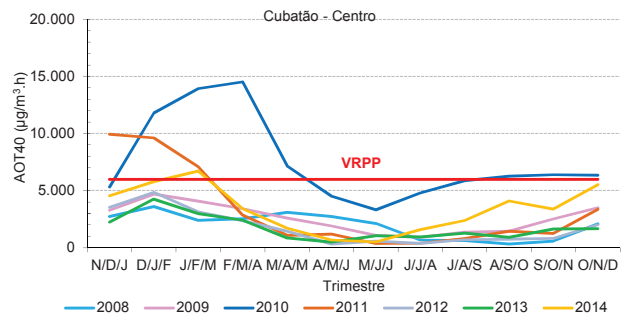
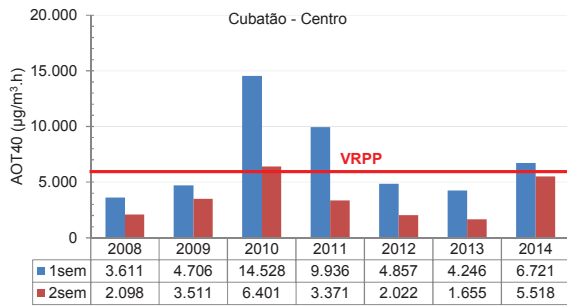


Gráfico 16 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2013**Gráfico 17 - Valores de AOT40 trimestral – Baixada Santista – 2014**

A seguir são apresentados os valores máximos por semestre e sua variação anual das AOT40 trimestral no período de 2008 a 2014 para cada estação de monitoramento da Baixada Santista (Gráfico 18).

A estação Cubatão-Centro apresentou valores máximos de AOT40 trimestral superiores ao VRPP em 2010 ($14.528 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$), 2011 ($9.936 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) e 2014 ($6.721 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$), que ocorreram geralmente no primeiro semestre; a estação Cubatão-Vale do Mogi apresentou um único valor superior ($6.051 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$), mas próximo ao VRPP, em 2010; e nas estações de Santos os valores de AOT40 trimestral ficaram abaixo do VRPP, em todos os anos.

Gráfico 18 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Baixada Santista



4.2.3 Interior – Unidade Vocacional Industrial

O interior do Estado de São Paulo está subdividido neste relatório em dois grandes grupos denominados como Unidade Vocacional Industrial e Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária.

O primeiro grupo denominado Unidade Vocacional Industrial possuía em 2014, nove estações de qualidade do ar distribuídas em 9 cidades: Americana, Jacareí, Jundiaí, São José dos Campos, Paulínia, Sorocaba, Paulínia Sul, Tatuí e Piracicaba. Dessas nove cidades, sete já possuíam estações em 2008, as estações em Jacareí e Tatuí foram implantadas em 2011 (Gráficos 19 a 25).

Observa-se que os valores de AOT40 trimestral foram nitidamente superiores no segundo semestre nos anos de 2010, 2011, 2012 e 2014. Em todos os anos existiram valores de AOT40 trimestral que superaram a VRPP para a maioria das estações.

Gráfico 19 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2008

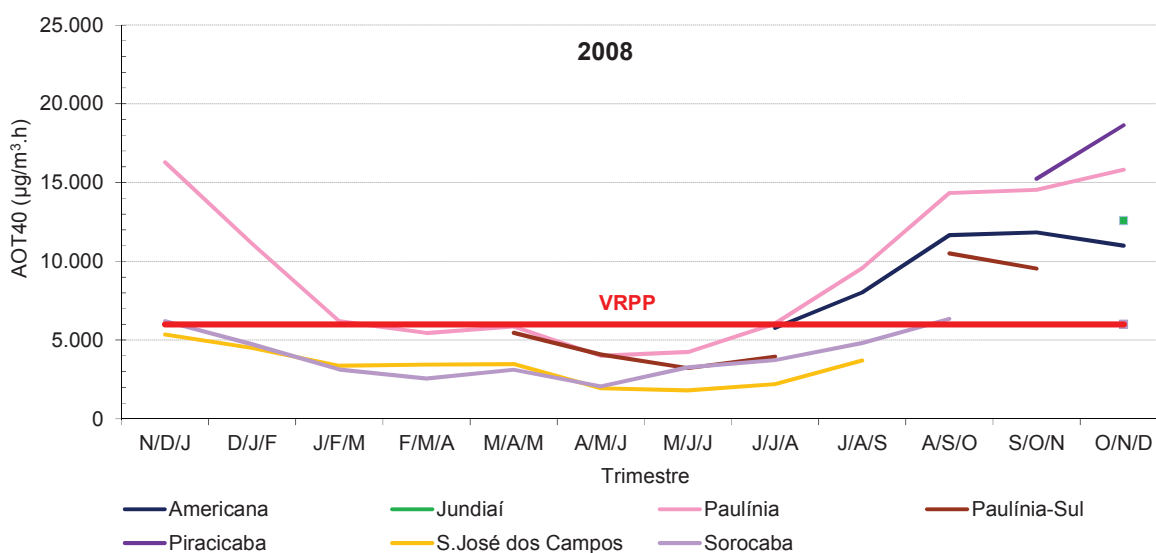


Gráfico 20 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2009

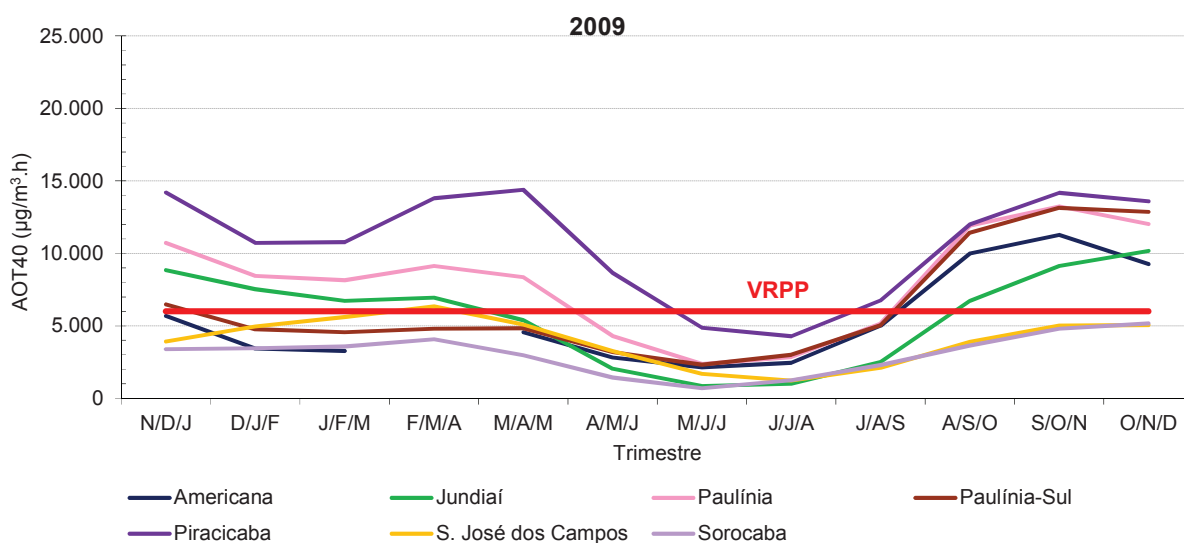


Gráfico 21 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2010

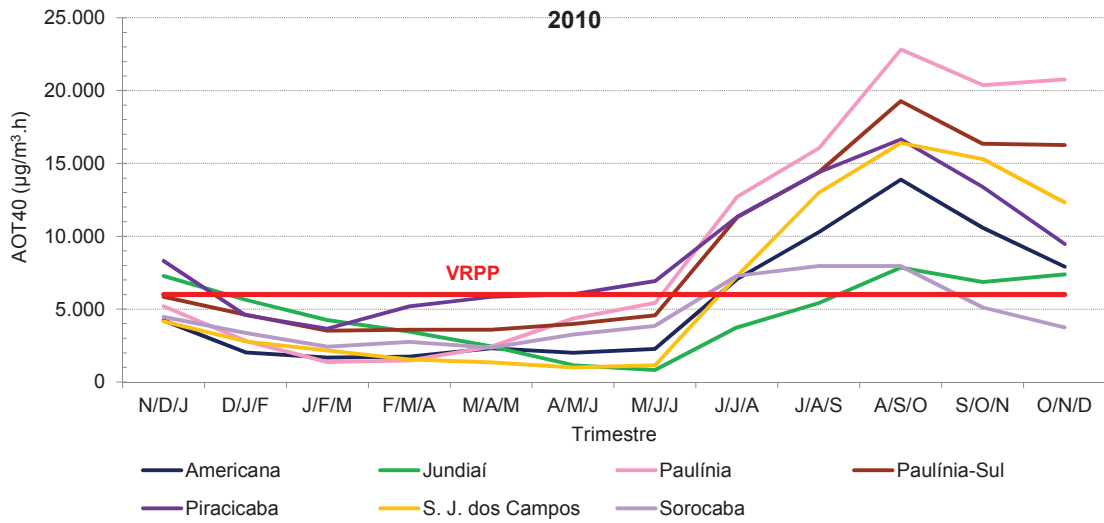


Gráfico 22 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2011

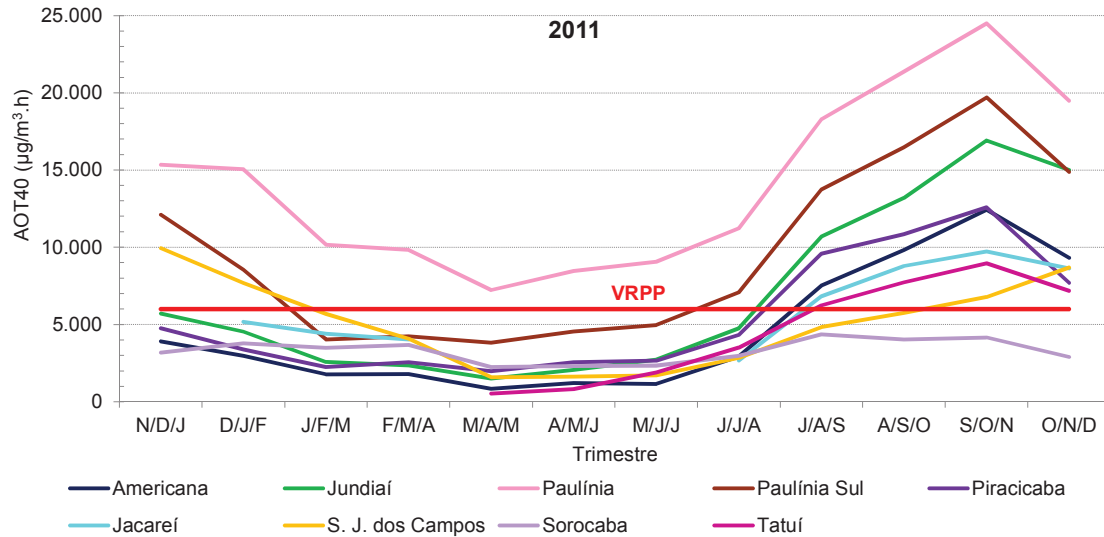


Gráfico 23 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2012

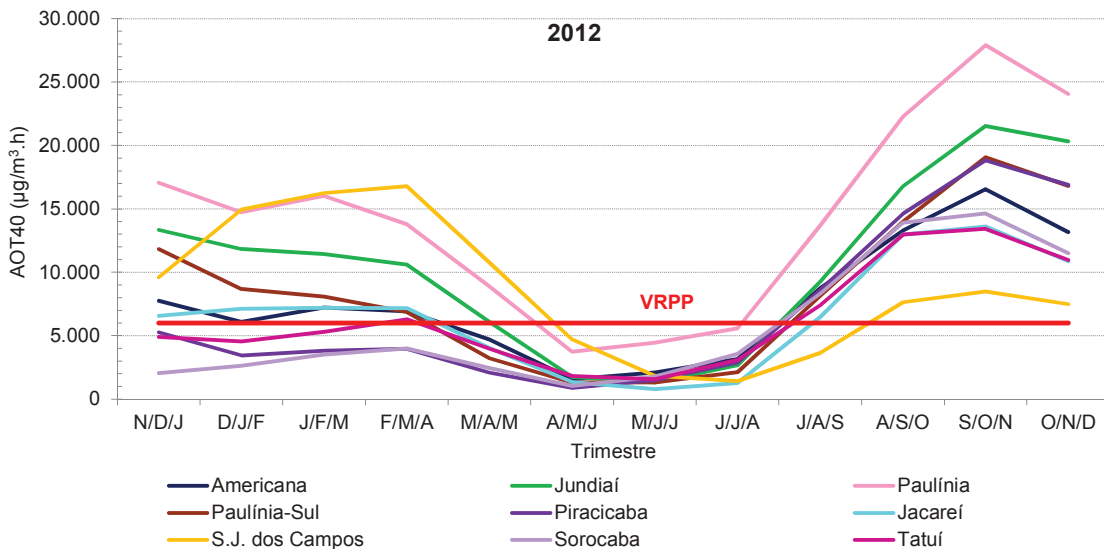
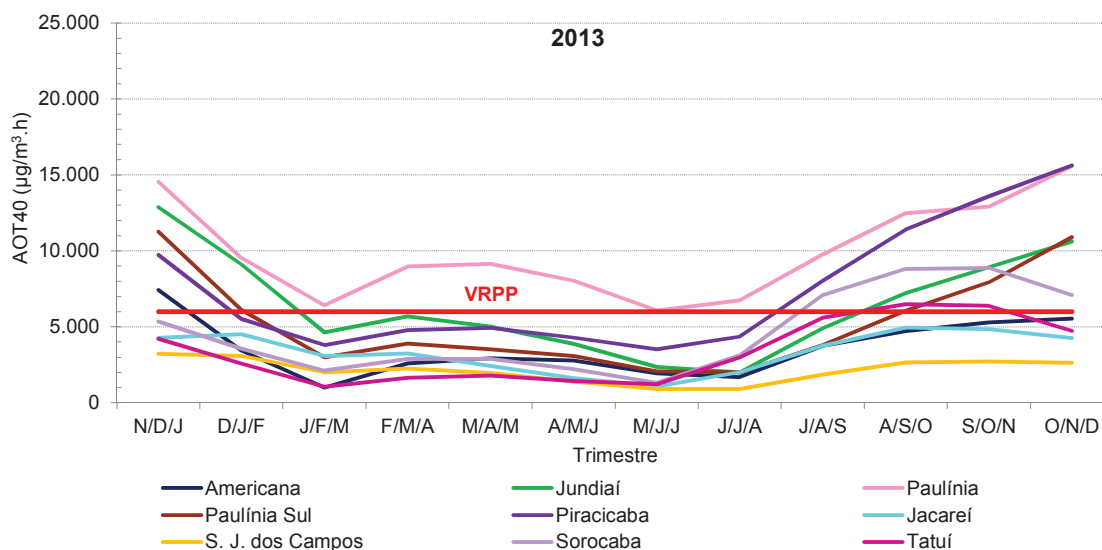
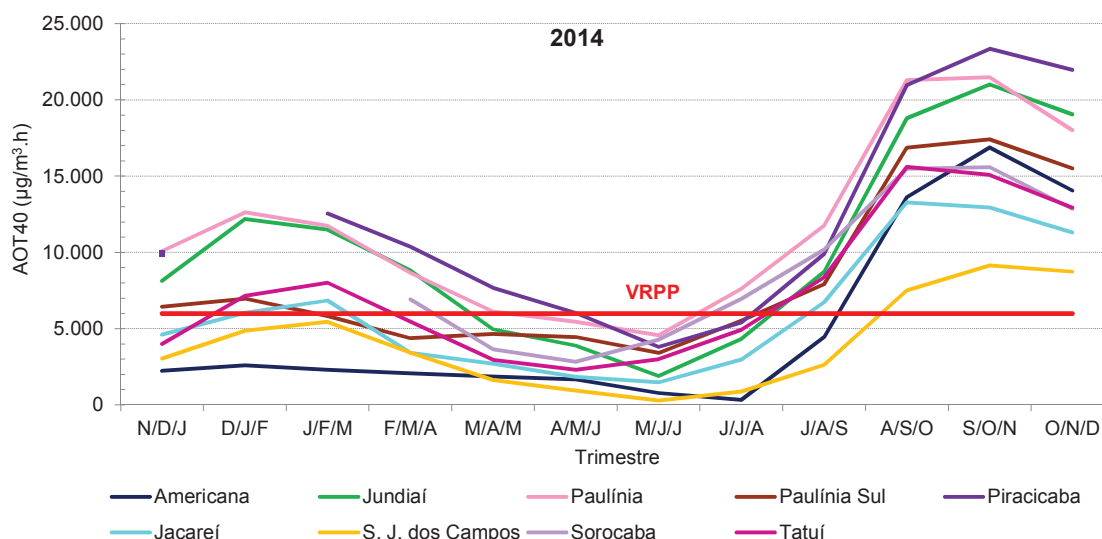


Gráfico 24 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2013**Gráfico 25 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UV Industrial – 2014**

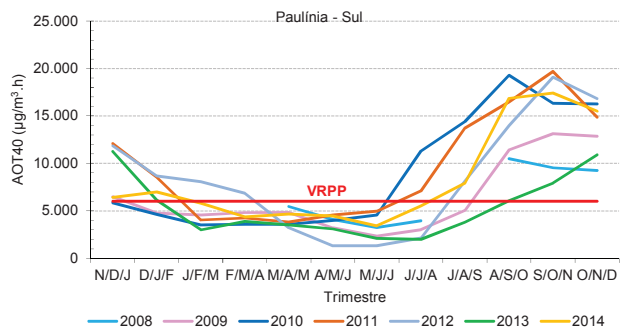
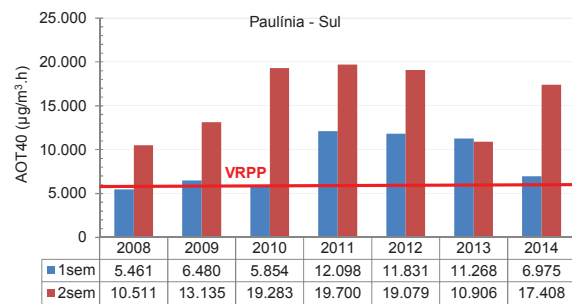
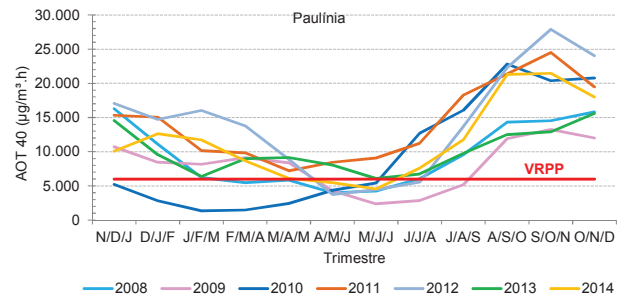
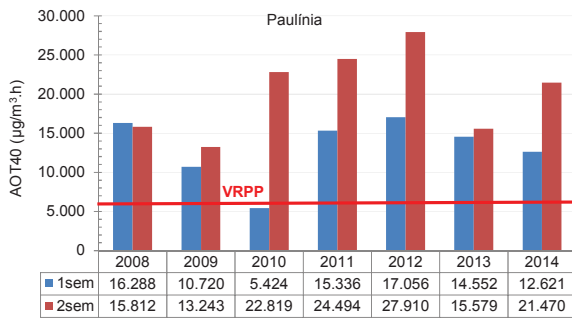
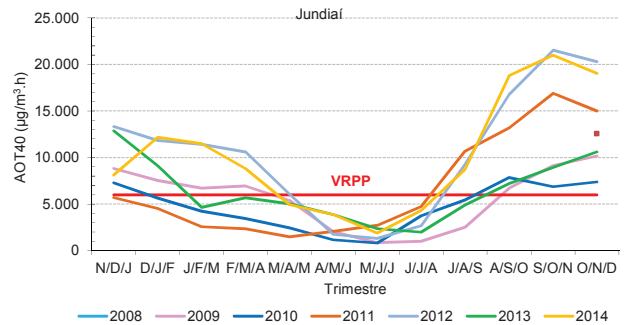
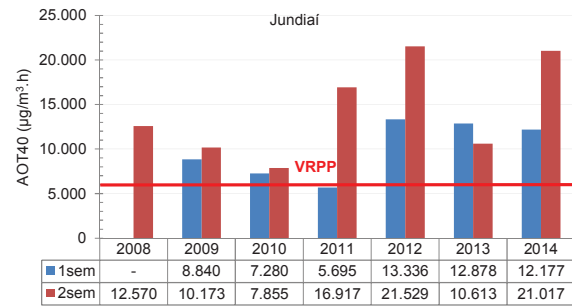
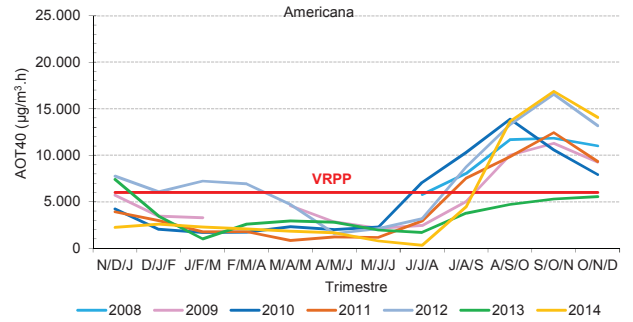
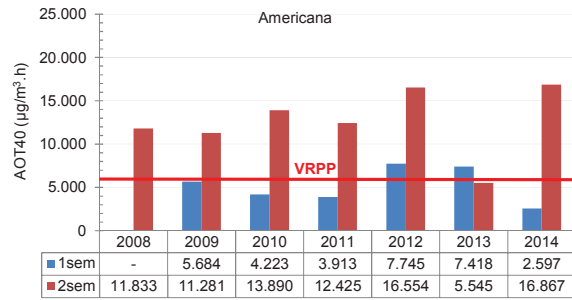
A seguir são apresentados os valores máximos por semestre e sua variação anual das AOT40 trimestral no período de 2008 a 2014 para cada estação de monitoramento do interior - Unidade Vocacional Industrial (Gráfico 26).

Os maiores valores de AOT40 trimestral foram encontrados na estação de Paulínia (máximo de $27.910 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$), seguido por Piracicaba ($23.341 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) e Jundiaí ($21.529 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$). Essas estações, juntamente com a estação Paulínia Sul, foram as únicas que apresentaram pelo menos um valor máximo de AOT40 trimestral acima de $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$.

Em Jacareí, Sorocaba e Tatuí, os valores de AOT máximos trimestrais sempre foram maiores no segundo semestre. No Estado de São Paulo, a estação de Paulínia foi aquela que apresentou o maior valor de AOT40 trimestral.

Os valores de AOT40 trimestral ultrapassaram o VRPP tanto no primeiro como no segundo semestre, embora em geral os maiores valores ocorreram no segundo semestre. São José dos Campos foi a única estação que apresentou AOT40 trimestral máxima no primeiro semestre.

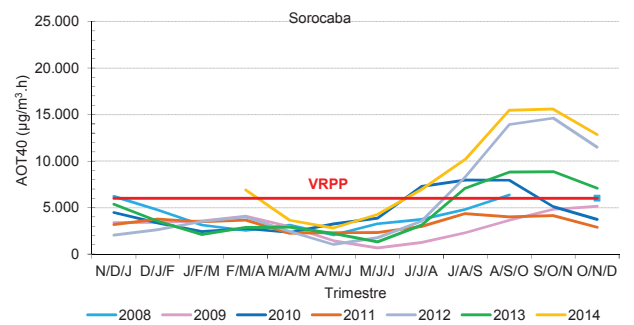
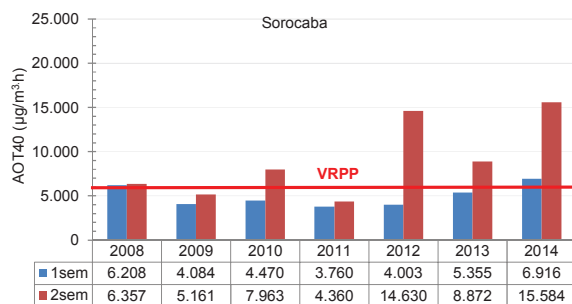
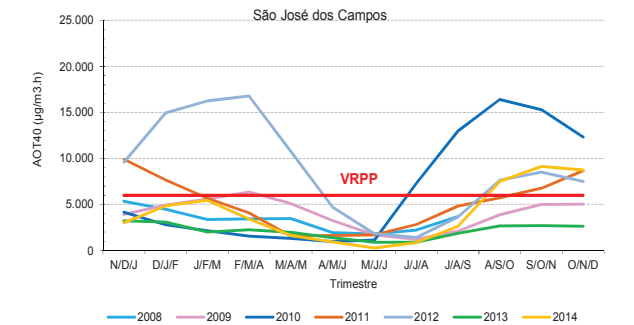
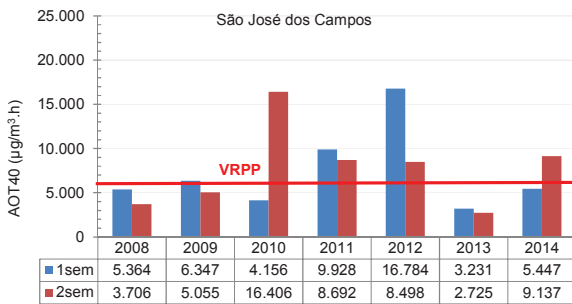
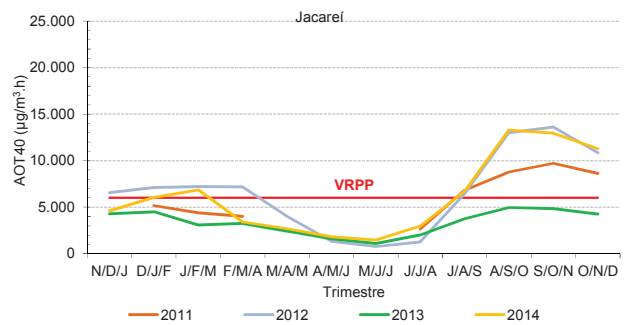
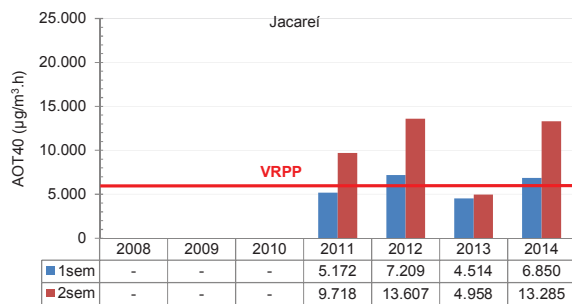
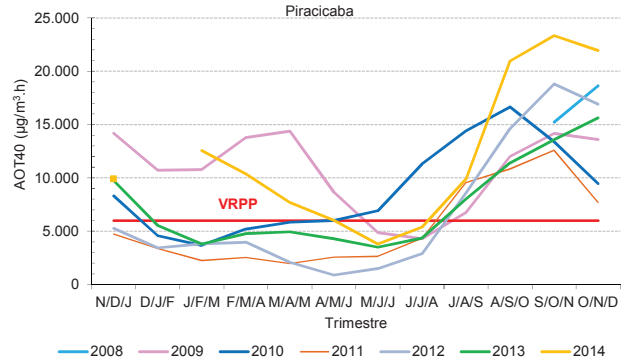
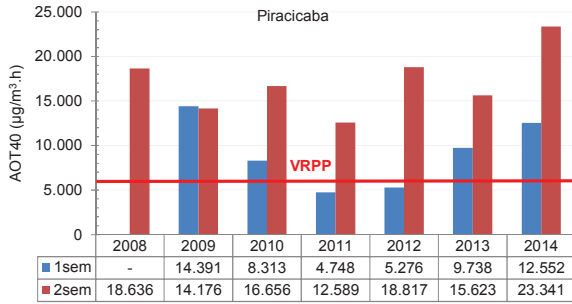
Gráfico 26 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Interior – Unidade Vocacional Industrial



(continua)

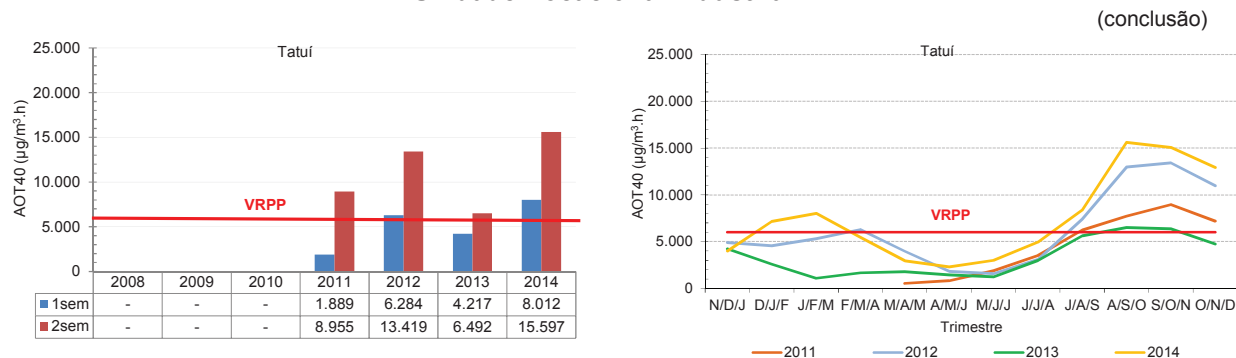
Gráfico 26 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Interior – Unidade Vocacional Industrial

(continuação)



(continua)

Gráfico 26 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Interior – Unidade Vocacional Industrial



4.2.4 Interior – Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária

Nas Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária existem oito estações de monitoramento da qualidade do ar que iniciaram o monitoramento em 2008: Araraquara, Bauru, Jaú, Araçatuba, Catanduva, São José do Rio Preto, Marília e Presidente Prudente (Gráficos 27 a 33).

Em 2009, nenhuma estação apresentou valor de AOT40 trimestral superior ao VRPP. Nos outros anos ocorreram ultrapassagens do VRPP no segundo semestre, destacando-se os anos de 2010, 2012 e 2014 quando todas as estações apresentaram esta condição.

Gráfico 27 - Valores de AOT40 trimestral – Interior - UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2008

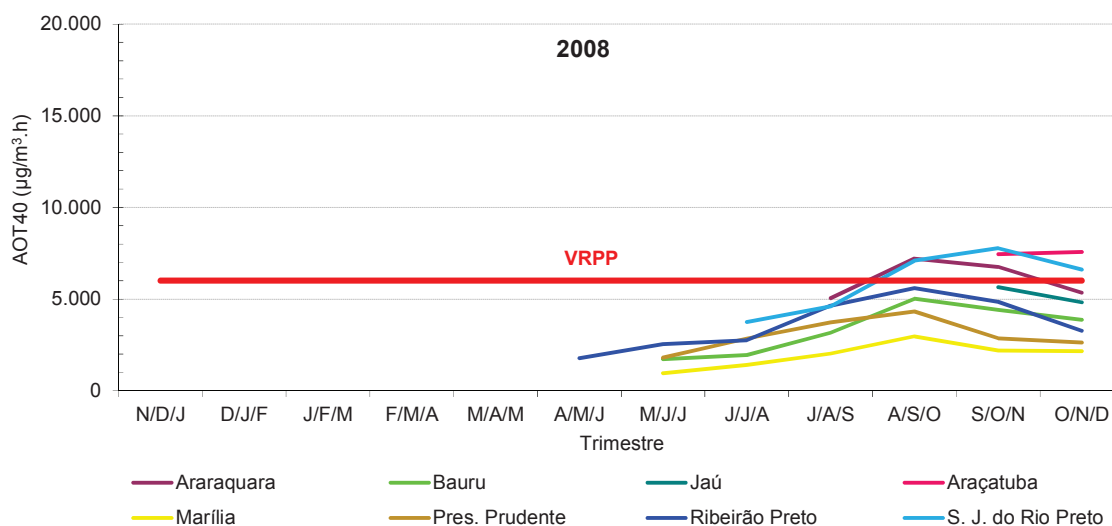


Gráfico 28 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2009

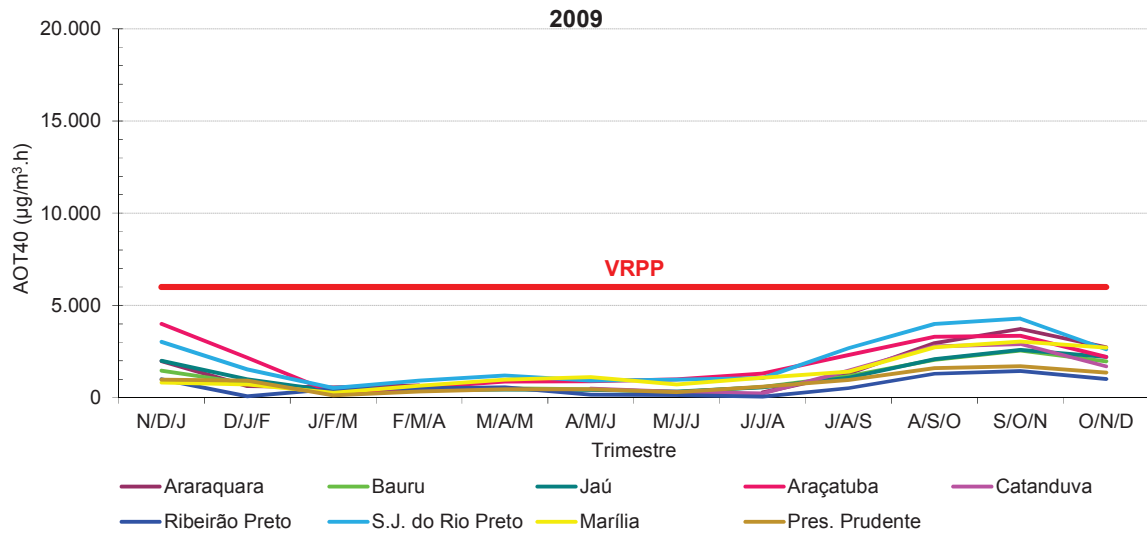


Gráfico 29 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2010

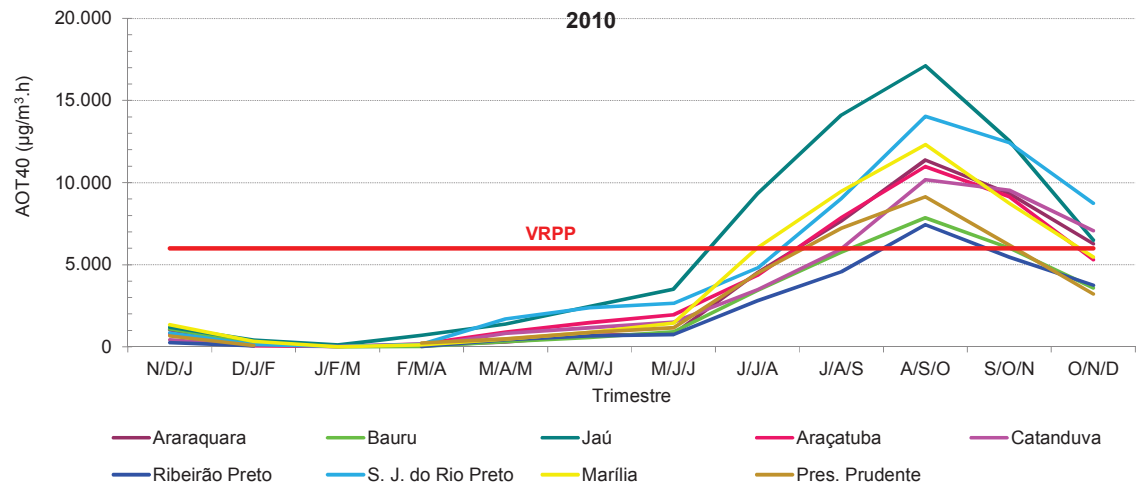


Gráfico 30 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2011

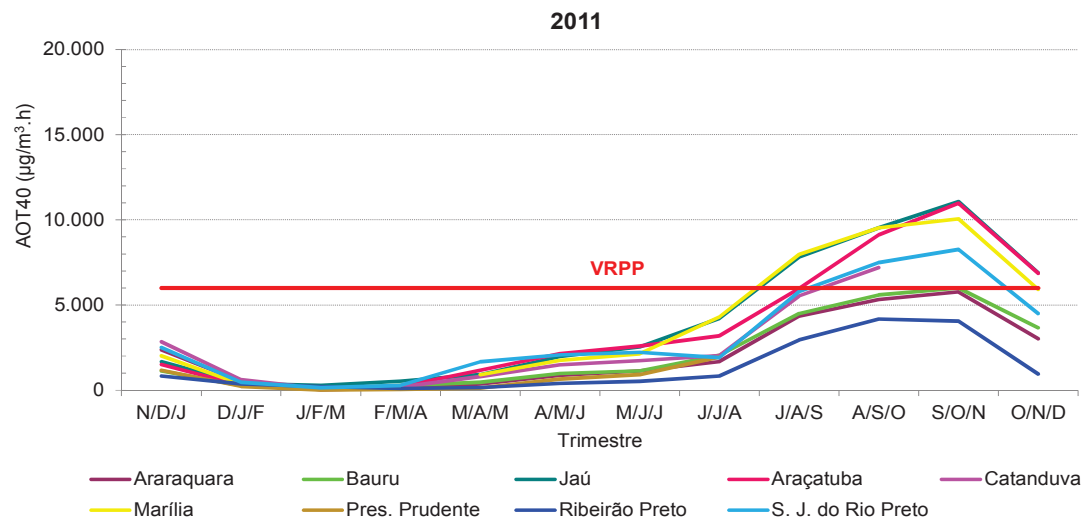


Gráfico 31 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2012

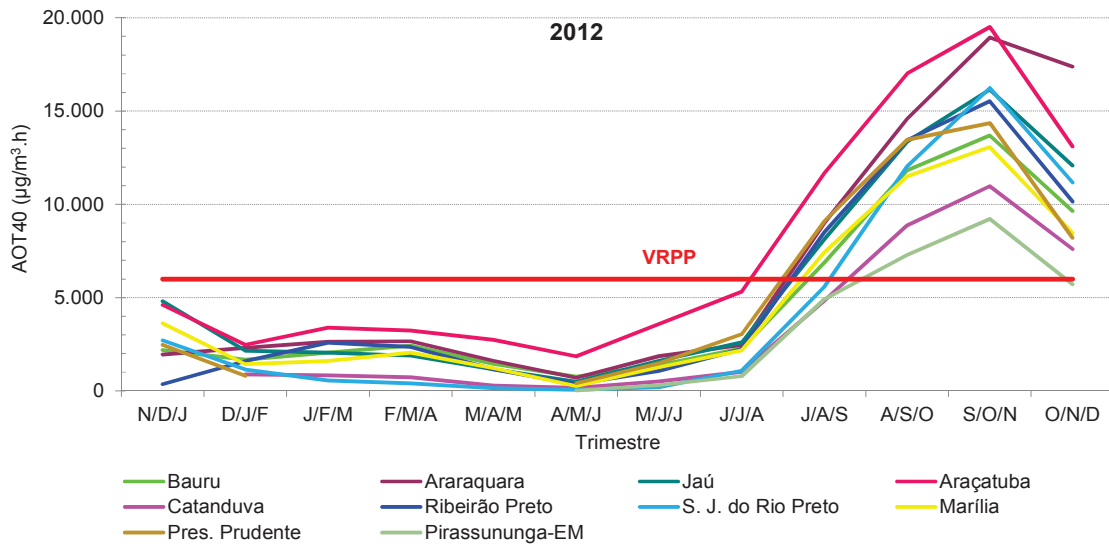


Gráfico 32 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2013

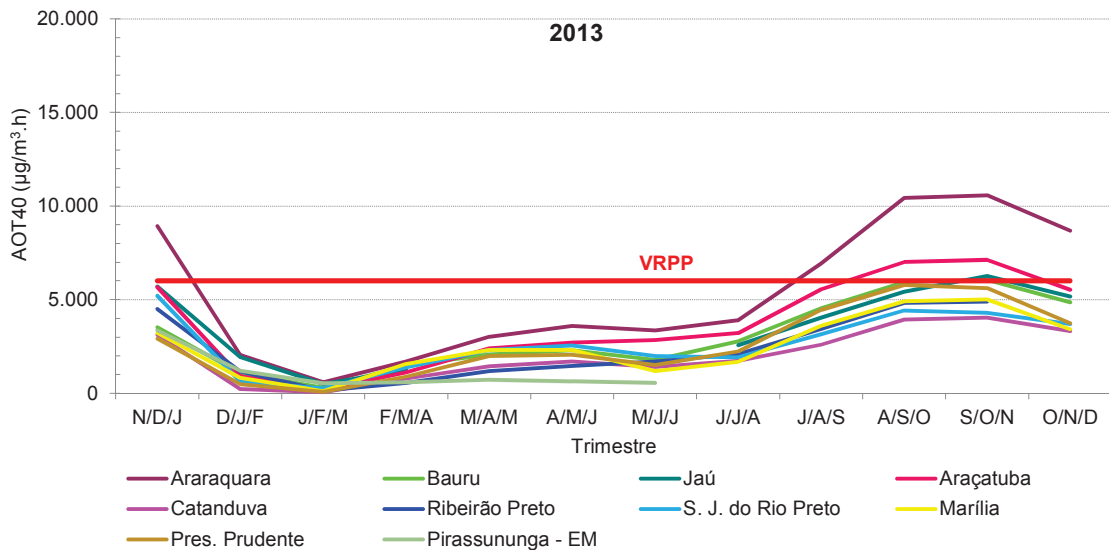
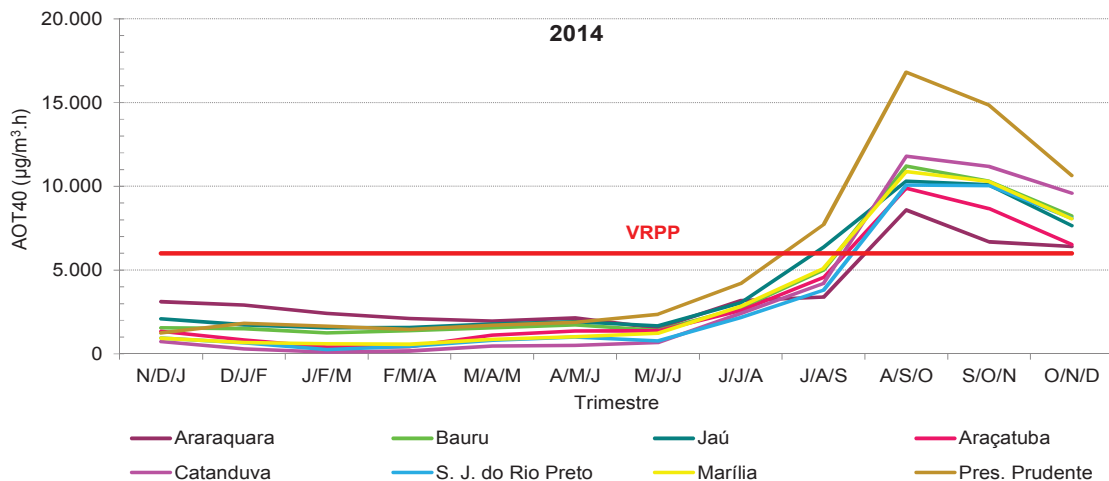


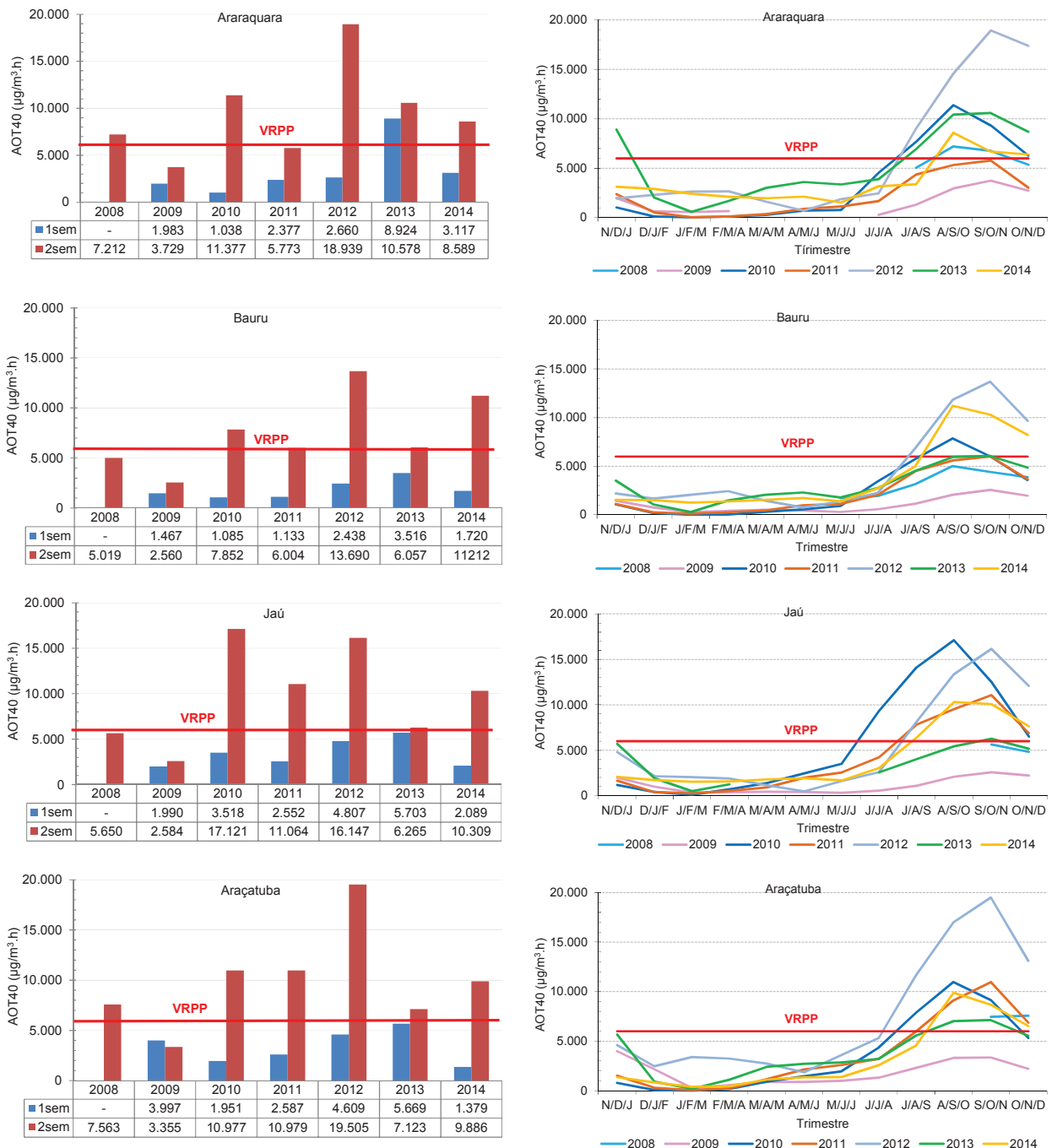
Gráfico 33 - Valores de AOT40 trimestral – UVs Em Industrialização e Agropecuária – 2014



A seguir são apresentados os valores máximos por semestre e sua variação anual das AOT40 trimestral no período de 2008 a 2014 para cada estação de monitoramento do interior - Unidade Vocacional em Industrialização e Agropecuária (Gráfico 34).

Os valores máximos para a AOT40 trimestral ocorreram em Araçatuba, seguido por Araraquara, únicas estações que apresentaram valores acima de $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$. Neste período, somente Catanduva apresentou todos os valores de AOT40 trimestral inferiores a $12.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ (duas vezes o VRPP).

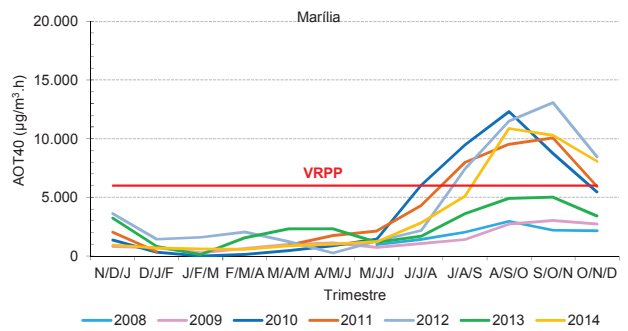
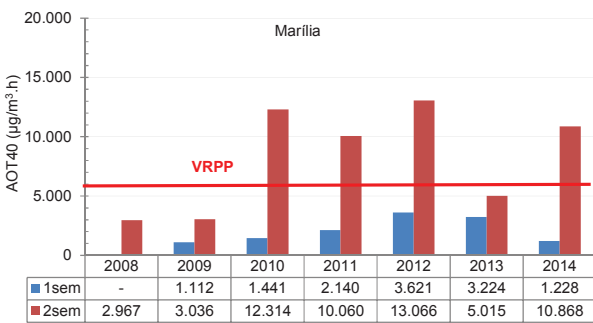
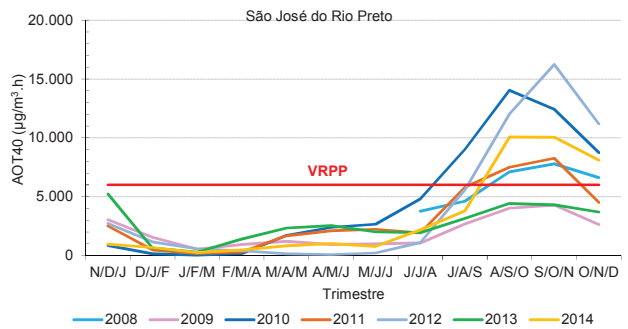
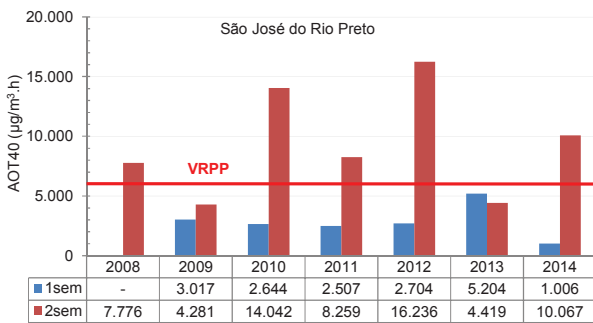
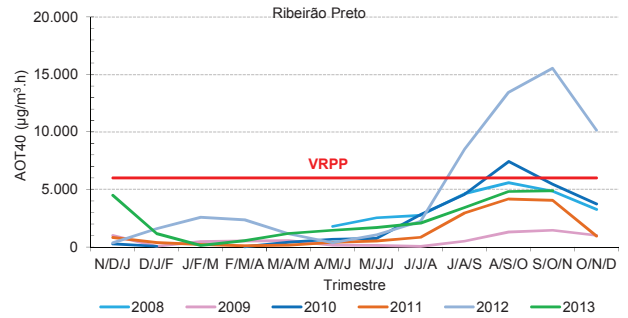
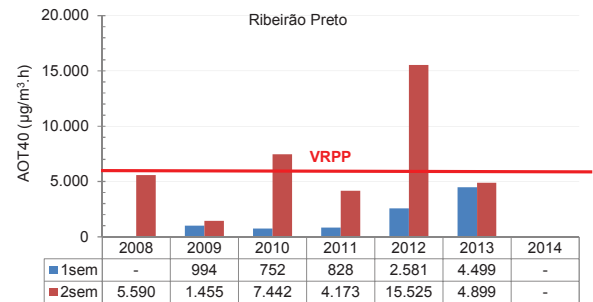
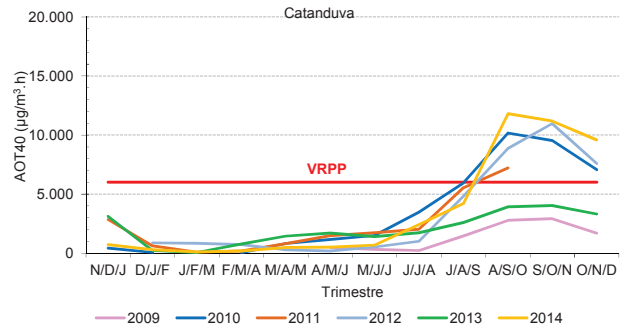
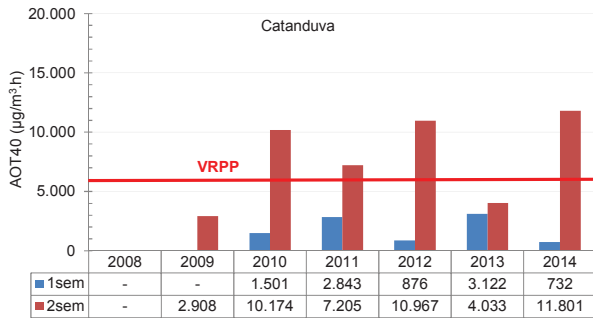
Gráfico 34 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária



(continua)

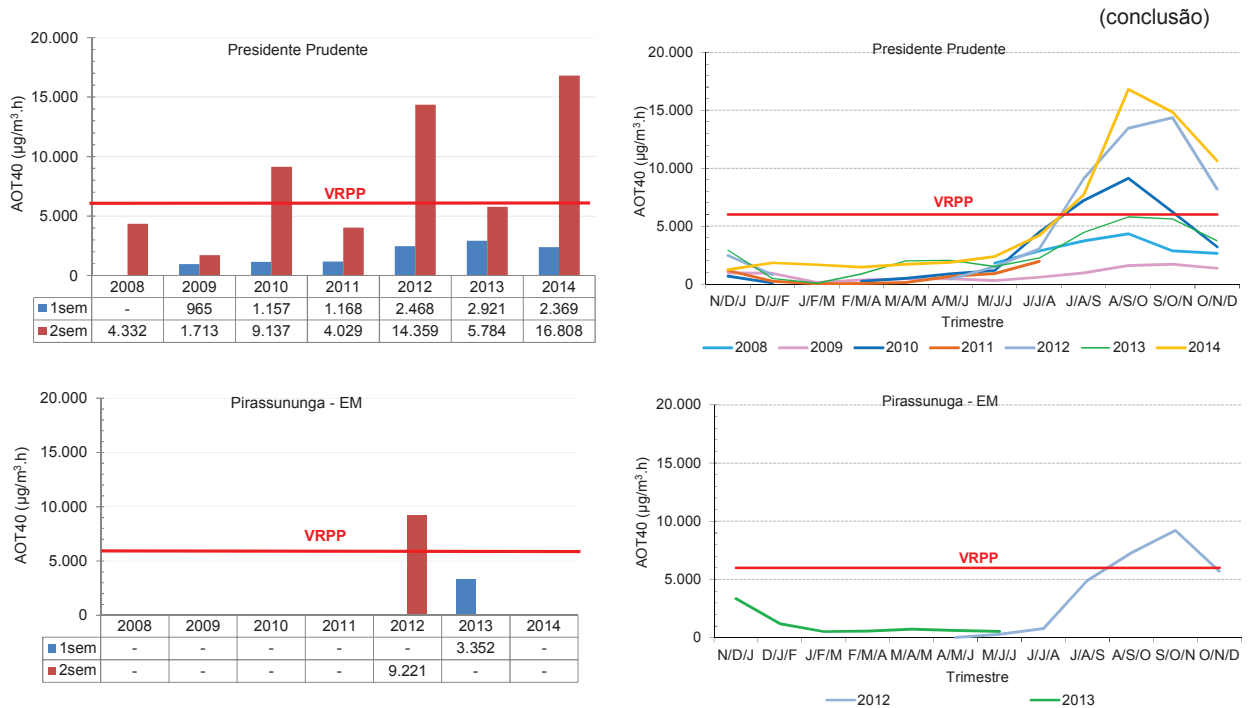
Gráfico 34 – AOT40 trimestral - Valores máximos por semestre e variação anual – Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária

(continuação)



(continua)

Gráfico 34 – AOT40 trimestral- Valores máximos por semestre e variação anual – Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária



4.3 Análise de tendência da AOT40 trimestral

No gráfico 35 é apresentada a tendência da evolução das médias aritméticas anuais de AOT40 trimestral para a RMSP.

Através do gráfico é possível notar que os valores das médias anuais apresentavam comportamento de aumento de 2009 a 2012 e o valor do ano de 2013 apresentou queda acentuada afetando na explicação do modelo ($r^2=0,3415$). Como o teste estatístico apontou a não significância do modelo, no período entre 2008 e 2014, não é possível afirmar se há uma tendência de aumento das médias de AOT40 na região.

Caso fossem considerados os valores de médias das máximas anuais de AOT40 trimestral, a tendência seria similar à das médias anuais resultando em um $r^2=0,3821$, também não significativo.

Gráfico 35 – Evolução das médias anuais de AOT40 trimestral - RMSP



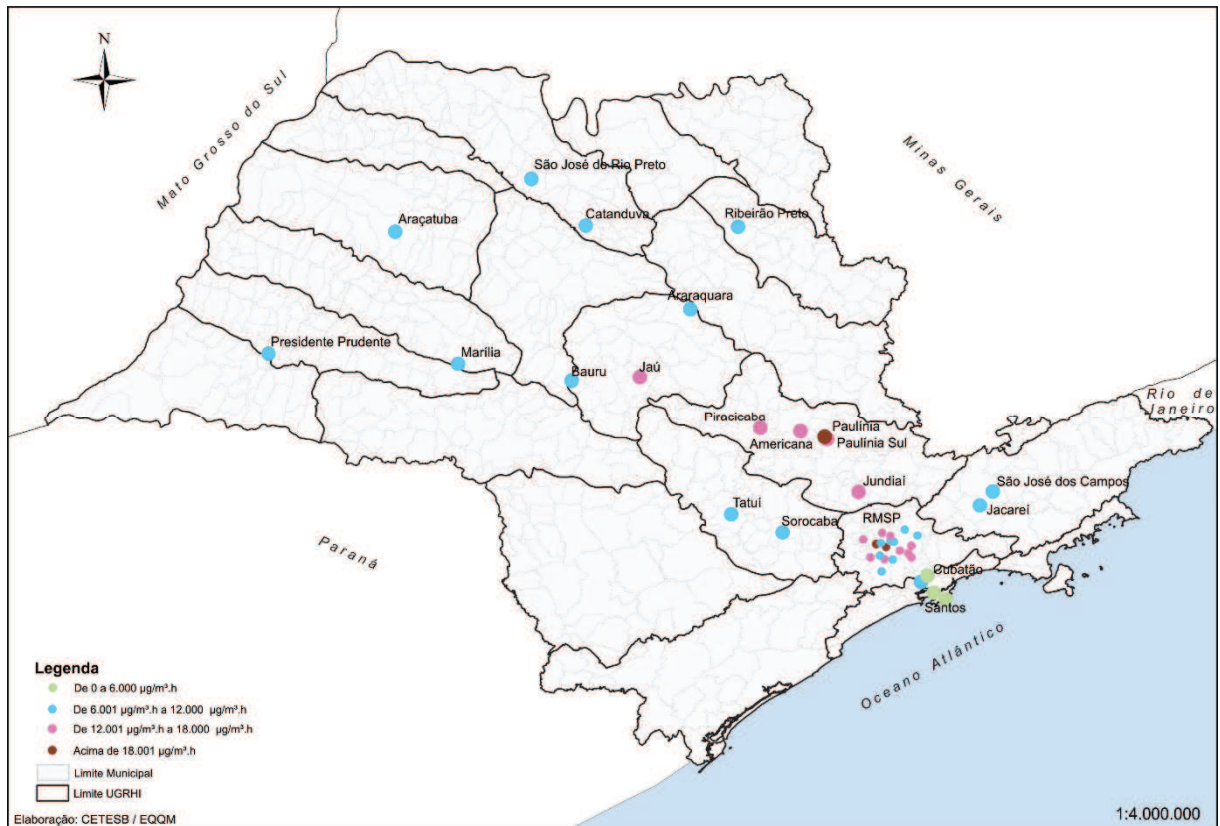
Base RMSP: Todas as estações automáticas com monitoramento representativo.

Como as demais regiões do Estado (Baixada Santista, Interior-UV Industrial e Interior-UVs Em Industrialização e Agropecuária) apresentam estações com características individuais em diversos aspectos, tais como topografia, localização, condições meteorológicas, fontes de emissões, entre outros, que as diferenciam entre si, não serão apresentados gráficos médios para estas regiões.

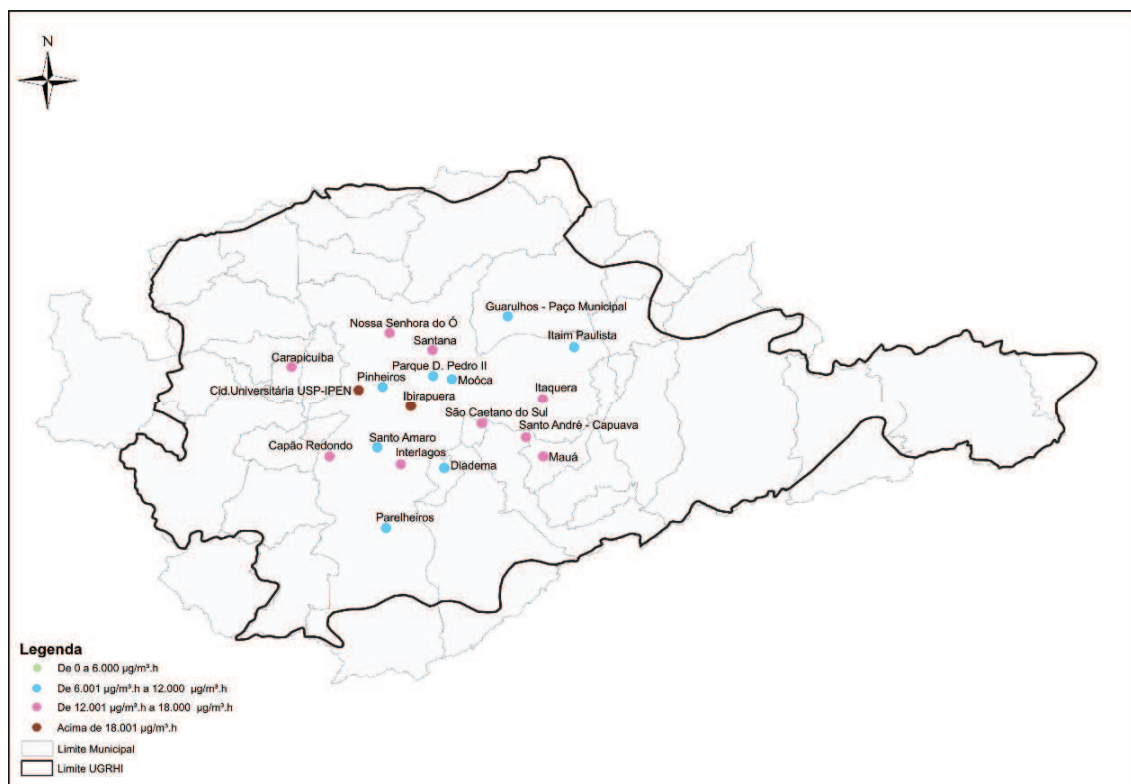
4.4 Distribuição espacial da AOT40 trimestral

Nos mapas 3 e 4, a seguir, são apresentadas as distribuições, por faixa, das médias de 5 anos das máximas de AOT40 trimestral (2010-2014), nas estações de monitoramento de ozônio no Estado de São Paulo, considerando pelo menos três anos de dados. Na tabela B do Apêndice A são apresentadas as médias das máximas trimestrais de AOT para o período 2008-2014 (todo período) e para o período 2012-2014 (três anos).

Mapa 3 – Distribuição espacial de AOT40 no Estado de São Paulo - média de 5 anos das máximas trimestrais - 2010/2014



Mapa 4 – Distribuição espacial de AOT40 na RMSP - média de 5 anos das máximas trimestrais -2010/2014



Na Unidade Vocacional Em Industrialização e Agropecuária todas as estações apresentaram médias das máximas trimestrais, de 5 anos, inferiores a 12.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, a exceção de Jaú.

Para as estações da Unidade Vocacional Industrial, esta condição de valores médios inferiores a 12.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, no período de 5 anos, foi verificada nas estações Jacareí, São José dos Campos, Sorocaba e Tatuí. As estações Americana, Jundiaí, Paulínia-Sul e Piracicaba apresentaram valores médios entre 12.000 e 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$, enquanto que a média para a estação Paulínia ultrapassou 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$.

Conforme observado no mapa 4, das treze estações do município de São Paulo, seis apresentaram valores médios inferiores a 12.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ e somente duas (Ibirapuera e Cidade Universitária USP-IPEN) apresentaram média acima de 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$.

Para os demais municípios da RMSP que possuem estação de monitoramento da qualidade do ar, as estações Diadema e Guarulhos - Paço Municipal apresentaram médias inferiores a 12.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ e os demais entre 12.000 e 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$.

As estações de monitoramento que apresentaram os menores valores médios das máximas trimestrais de AOT40 foram as estações de Santos e Santos-Ponta da Praia, na Baixada Santista.

A Diretiva Européia 2008/50/EC (EUROPE, 2008) definiu para a proteção da vegetação o valor limite de 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ como a meta a ser alcançada em 2010 para o valor médio dos últimos cinco anos de AOT40, sendo 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ (VRPP) o objetivo a longo prazo. Cabe destacar que em parte da Europa, as concentrações de AOT40 alcançam ou até mesmo ultrapassam 50.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ (EEA, 2015).

No Estado de São Paulo este valor limite de 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ (média de 5 anos) só foi ultrapassado na UGRHI 5, estação de Paulínia, e na RMSP, estações Ibirapuera e Cidade Universitária-USP-IPEN, o que indica potencial ocorrência de injúrias em espécies vegetais sensíveis cultivadas ou de ambientes naturais.

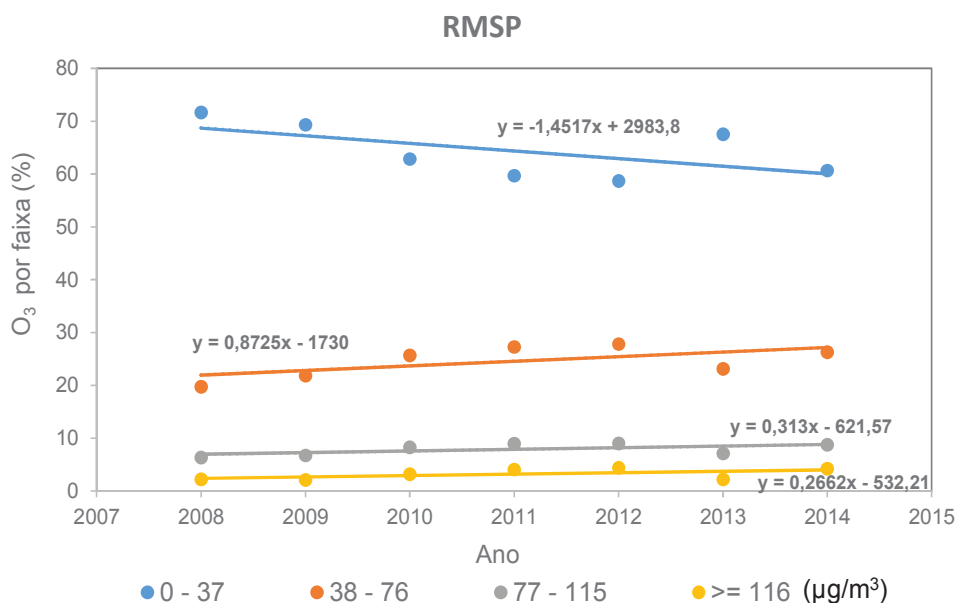
Nas Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária não foi ultrapassado o limite para a proteção à vegetação estabelecido na Diretiva Européia 2008/50/EC (EUROPE, 2008).

4.5 Distribuição das concentrações horárias de ozônio

A seguir, é apresentada a distribuição percentual das concentrações horárias de ozônio, por faixa (0-37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 38-76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 77-115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $\geq 116 \mu\text{g}/\text{m}^3$), considerando o período de 2008 a 2014. O objetivo principal desta análise é observar a tendência de comportamento nas faixas, que poderiam ter reflexo nos níveis de AOT40.

No gráfico 36 é apresentada a distribuição das concentrações horárias de ozônio, considerando todas as estações da RMSP, no período de 2008 a 2014.

Gráfico 36 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa - RMSP



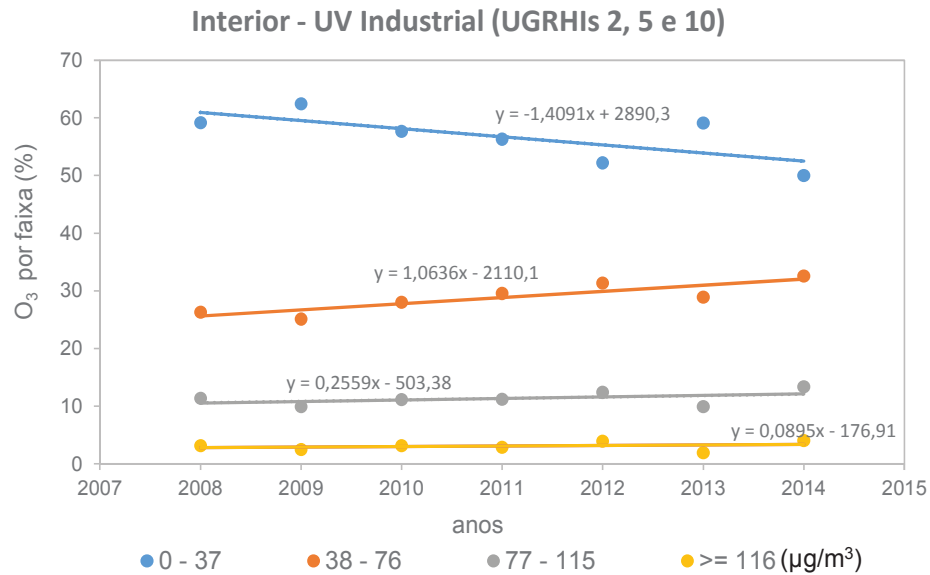
Foram aplicados testes para verificação da significância estatística de todas as faixas e os resultados indicaram que não são significativos, portanto não é possível afirmar se houve decréscimo ou aumento das concentrações nas respectivas faixas, no período analisado.

O gráfico 37 apresenta a distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa, considerando as estações da Unidade Vocacional Industrial, do interior do Estado, referentes às UGRHI's 2, 5 e 10, que mostraram comportamentos semelhantes.

Para a faixa de valores entre 38 e 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que apresentou tendência significativa, houve um aumento de 1,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período. As demais faixas não são significativas estatisticamente.

Estudos europeus indicam que uma tendência de aumento na faixa intermediária de 38 a 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pode acarretar no aumento da concentração média anual de ozônio, em uma determinada região (ICP, 2015 e ICP, 2012).

Gráfico 37 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa – Interior - UV Industrial



Para as demais estações do Estado, são apresentadas as distribuições individuais das concentrações horárias de ozônio, agrupadas nas regiões Baixada Santista (gráfico 38) e Interior - UVs Em Industrialização e Agropecuária (gráfico 39). Esses gráficos permitem visualizar o comportamento em cada estação, visto que diversos fatores, tais como localização, fontes de precursores, condições meteorológicas, topografia, período de dados, etc., propiciam comportamentos diferentes entre as estações.

Gráfico 38 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa e estação – Baixada Santista

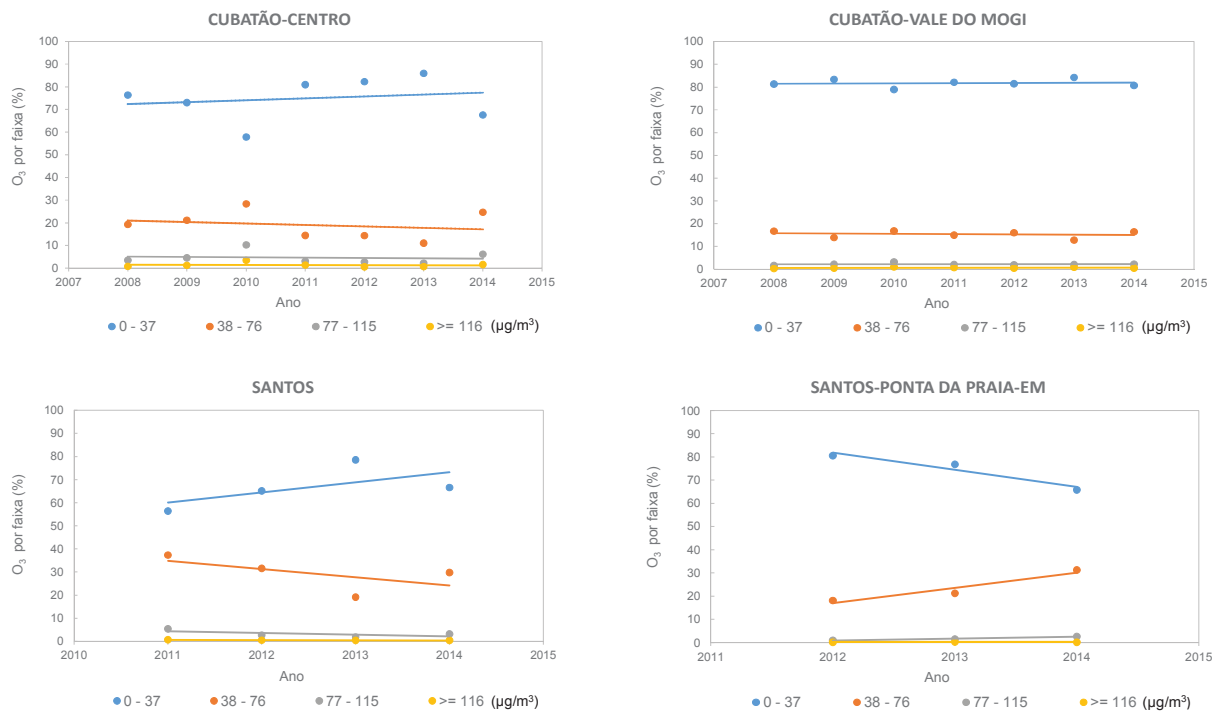
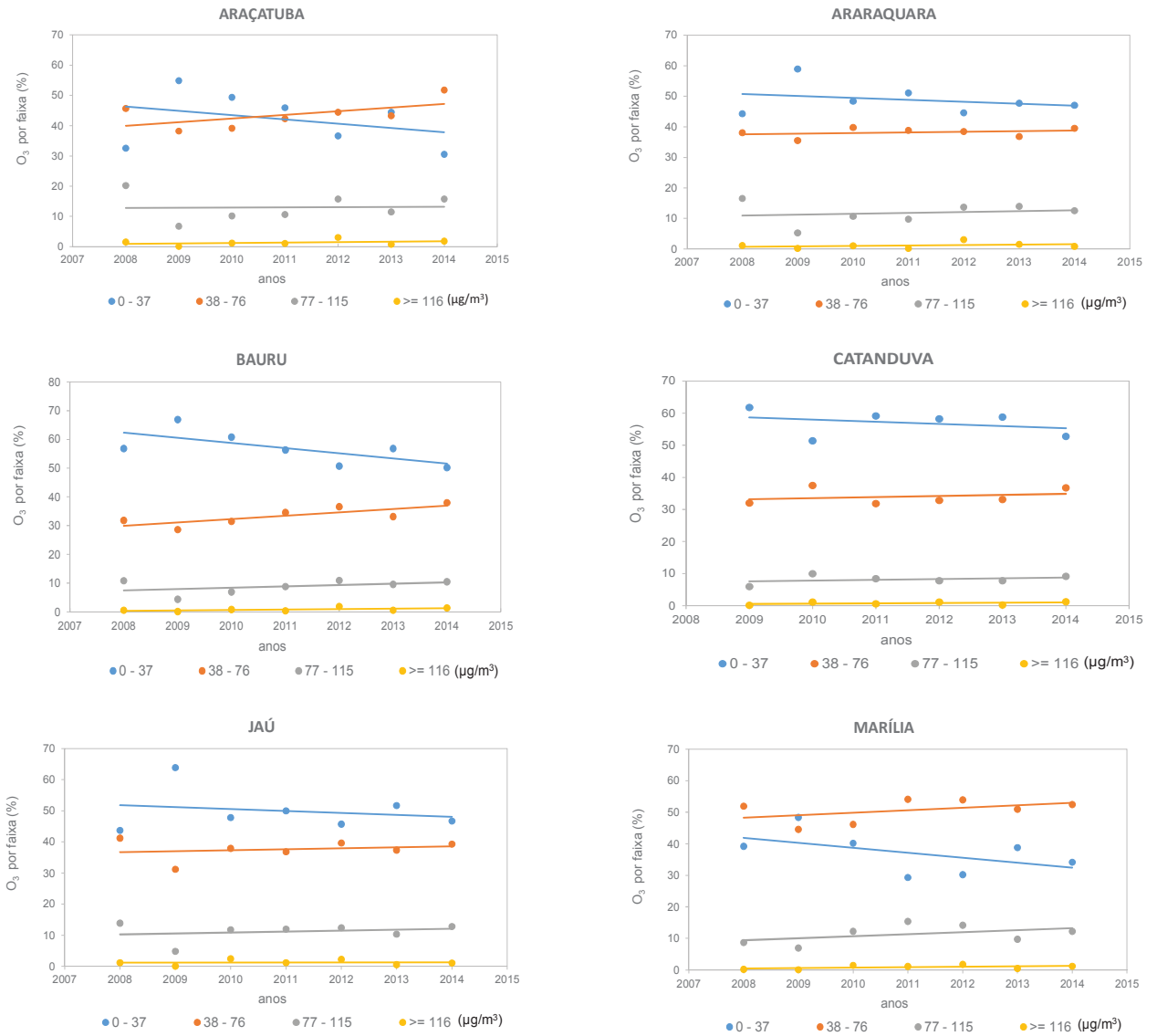


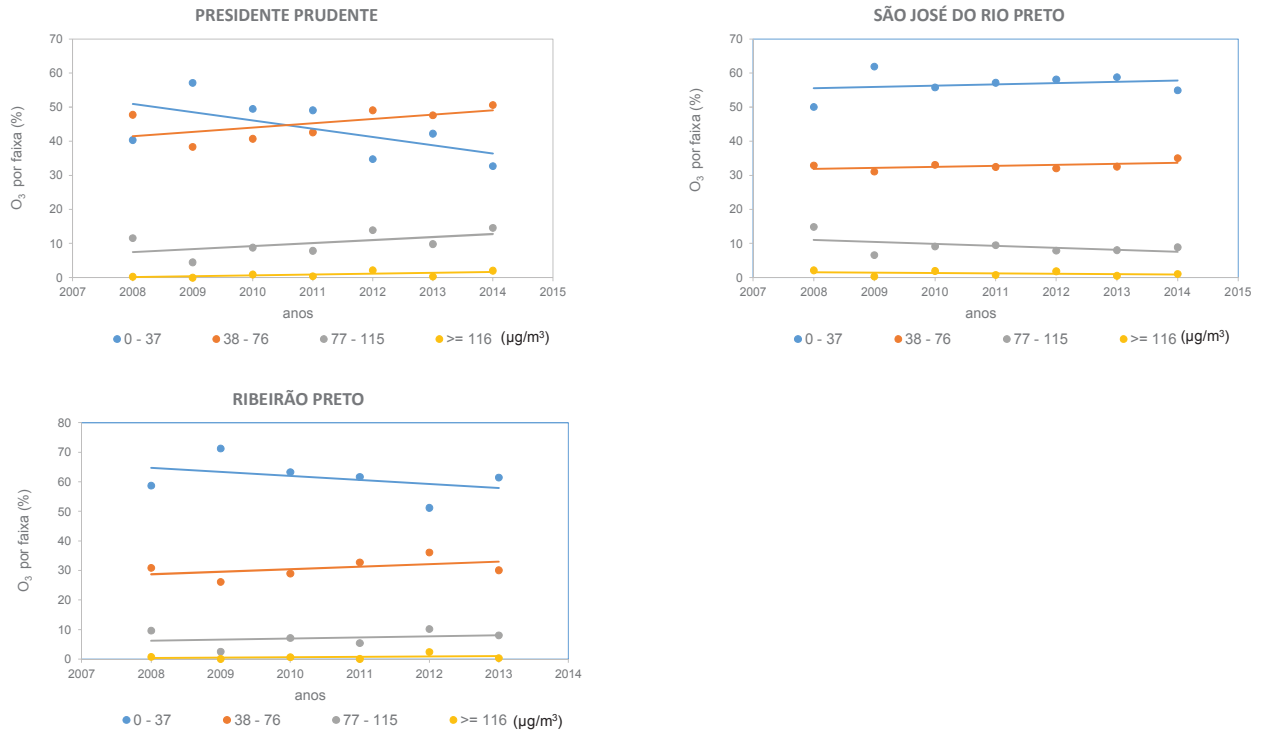
Gráfico 39 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa e estação – Interior - UV Em Industrialização e Agropecuária



(continua)

Gráfico 39 – Distribuição das concentrações horárias de ozônio, por faixa e estação – Interior - UV Em Industrialização e Agropecuária

(conclusão)



Obs.: Pirassununga não foi representado graficamente em função do período de dados disponível. Ribeirão Preto não houve monitoramento em 2014.

5 Conclusão

O ozônio ultrapassa os padrões de qualidade do ar vigentes em várias regiões do Estado, podendo provocar em algumas ocasiões efeitos à saúde da população.

Para a vegetação, a avaliação da AOT40 trimestral mostrou que das 42 estações do Estado de São Paulo que monitoram ozônio somente em 2 estações da Baixada Santista (Santos e Santos Ponta da Praia-EM), o Valor de Referência para Proteção da Produtividade Agrícola (VRPP) de 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ não foi ultrapassado em alguma ocasião. Deve-se considerar ainda que os valores para as estações de Santos e Santos-Ponta da Praia foram calculados com os dados disponíveis, ou seja, quatro e três anos, respectivamente.

Na RMSP houve ultrapassagem do VRPP em todas as estações, que ocorreram tanto no primeiro quanto no segundo semestre, sendo a região mais crítica do Estado. As estações que apresentaram ultrapassagens do VRPP em todos os anos analisados, tanto no primeiro quanto no segundo semestre, foram Cidade Universitária USP-IPEN, Ibirapuera e Santana.

No interior, os maiores valores de AOT40 trimestrais ocorreram no segundo semestre. Em geral, os maiores valores foram encontrados nas estações pertencentes a Unidade Vocacional Industrial. O maior valor de AOT40 trimestral ocorreu em Paulínia no ano de 2012 (27.910 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$). Nas Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária, os maiores valores de AOT40 trimestral ocorreram em Araçatuba (19.505 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) e Araraquara (18.939 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$), também em 2012.

A Baixada Santista foi a região do Estado que apresentou menos ultrapassagens do VRPP, que ocorreram em geral no primeiro semestre. Nesta região, Cubatão-Centro foi a estação mais crítica. Não ocorreram ultrapassagens nas estações Santos e Santos-Ponta da Praia.

De maneira geral, nas Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária, as médias das máximas dos AOT40 trimestrais, no período de 2010 a 2014, foram menores do que as observadas na Unidade Vocacional em Industrialização e maiores do que as observadas na Baixada Santista.

A análise de tendência indicou aumento das concentrações horárias de ozônio na faixa entre 38-76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na UV Industrial (considerando as UGRHIs 2, 5 e 10), o que pode apontar para elevação da concentração média anual do poluente.

Existem poucos estudos que relacionam a AOT40 com as culturas e vegetação existentes no Estado de São Paulo. Os valores máximos de AOT40 trimestral encontrados em diversos locais do Estado de São Paulo, associados ao transporte deste poluente para outras regiões, indicam potencial de efeitos adversos tanto para as culturas quanto para os ecossistemas naturais, quando comparados aos valores encontrados na literatura internacional.

As concentrações de ozônio encontradas, principalmente, na UGRHI 5 e na RMSP podem influenciar as fitofisionomias das áreas naturais, alterando o desempenho das espécies mais sensíveis a este poluente, tanto nas unidades de conservação, como em ambientes mais antropizados, por exemplo, em praças e parques municipais, assim como as culturas vegetais de espécies sensíveis.

Esses resultados reforçam a importância da continuidade das ações de controle dos precursores deste poluente, notadamente as descritas no Plano de Controle de Poluição Veicular – PCPV (CETESB, 2014b) e no Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias – PREFE (CETESB, 2014c).

Os resultados mostram ainda a necessidade de desenvolvimento de estudos tanto em câmaras de fumigação, como em campo sobre os impactos nas principais culturas agrícolas e ecossistemas naturais do Estado correlacionando-os com as concentrações de ozônio e AOT40.

Referências

- AUNAN, K.; BERNTSEN, T.K.; SEIP, H.M. Surface ozone in China and its possible impact on agricultural crop yields. **Ambio**, n. 29, p. 294-301, 2000.
- AVNERY, S.; MAUZERALL, D.L.; LIU, J.; HOROWITZ, L.W. Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. **Atmospheric Environment**, n.45, p. 2284-2296, 2011. Disponível em: <<https://www.princeton.edu/~mauzeral/papers/Avnery%20Mauzerall%20etal%20ag%202030%20AE%202011.pdf>>. Acesso em: maio 2016
- BORTOLIN, R.C. **Avaliação dos efeitos do ozônio sobre parâmetros bioquímicos e fisiológicos de folhas e frutos de *Capsicum baccatum* L. var *pendulum***. 2013. 111 p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96796>>. Acesso em: maio 2016.
- BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990**. Estabelece os Padrões de Qualidade do Ar. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: maio 2016.
- BULBOVAS, P. et al. Avaliação da sensibilidade de plantas jovens de quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. – Malvaceae) ao ozônio. **Hoehnea**, v.35, n.3, p. 359-366, 2008.
- CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo**. São Paulo. 2000 – 2014 (Série Relatórios). Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.
- _____. **Biomonitoramento ativo de ozônio atmosférico com utilização da espécie *Nicotiana tabacum* L. Bel W3**. : relatório preliminar. CETESB: São Paulo, 1999. 37p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.
- _____. **Estudo do comportamento do ozônio na Região Metropolitana de São Paulo**. CETESB: São Paulo, 2000. 70p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.
- _____. **Estudos investigativos da ocorrência de ozônio troposférico na região de Sorocaba– SP**. CETESB: São Paulo, 2004. 81p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.
- _____. **Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Cabreúva**. São Paulo, 2006. 24p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.
- _____. **Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Brotas**. São Paulo, 2007. 26p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.
- _____. **Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Biritiba-Mirim**. São Paulo, 2008. 30p Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.
- _____. **Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Rio Grande da Serra**. São Paulo, 2009. 28p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Abrangência Espacial das Estações de Monitoramento de Ozônio** (referente ao item I do Artigo 14º do Decreto Estadual nº 59.113/2013). São Paulo, 2014a. 18p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Plano de Controle de Poluição Veicular - PCPV 2014/2016**. São Paulo, 2014b. 58p. Disponível em: <<http://veicular.cetesb.sp.gov.br/relatorios-e-publicacoes/>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias – PREFE 2014**. São Paulo, 2014c. 199p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/plano-de-reducao-de-emissao-de-fontes-estacionarias-prefe/>>. Acesso em: maio 2016.

DAFRÉ, M. **Capacidade de oxi-redução de plantas de *Ipomoea nil* (L.) Roth cv. Scarlet O'Hara em área contaminada por ozônio, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga – SP**. 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em biodiversidade vegetal e meio ambiente) - Instituto de Botânica, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/pgibt/files/2013/09/Marcelle_Dafre_MS.pdf>. Acesso em: maio 2016.

DINGENEN, R. V. et al. The global impact of ozone on agricultural crop yields under current and future air quality legislation. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 3, p. 604–618, 2009.

DOMINGOS, M. et al. Impactos da poluição atmosférica sobre remanescentes florestais. In: BICUDO, D.C.; FORTI, M.C.; BICUDO, C.E.M. (eds.). **Parque Estadual das Fontes do Ipiranga**: unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. São Paulo, 2002, Cap. 13, p. 221-250.

EEA. **Air pollution by ozone in Europe in summer 2004 – Overview of exceedances of EC ozone threshold values during April-September 2004**. Copenhagen, 2005. 34 p. (EEA Technical Report 3/2005). Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2005_3>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Air quality in Europe -2015 report**. Copenhagen, 2015. 64 p. (EEA Technical Report 5/2015). Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2015>>. Acesso em: maio 2016.

EUROPE. European Parliament Council; Council of the European Union. Directive 2008/50/EC of 21 may 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. **Official Journal of the European Union**, v.51, L 152, 11 June 2008, p.1-44. Disponível em: <<<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=en>>>. Acesso em: maio 2016.

ICP. Centre for Ecology & Hydrology. **Air Pollution and Vegetation: ICP Vegetation Annual Report 2004/2005**. 2005, 48p. Disponível em: <<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/annual.html>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Evidence of widespread ozone damage to vegetation in Europe (1990-2006)**. Gwynedd, 2007. 60 p. Disponível em: <<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/EvidenceReportFINALPRINTEDVERSIONlow-res.pdf>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Air Pollution and Vegetation: ICP Vegetation1 Annual Report 2007/2008**. 2008, Gwynedd, 2008. 51 p. Disponível em: <<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/annual.htm>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Air Pollution and Vegetation: ICP Vegetation Annual Report 2008/2009**. 2009, Gwynedd, 2008. 51 p. Disponível em: <<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/annual.html>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Air Pollution and Vegetation:** ICP Vegetation Annual Report 2014/2015. 2015, Gwynedd, 36p. Disponível em: <<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/annual.html>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Evidence of Widespread Ozone Damage to Vegetation in Europe (1990-2006).** 2007. 60p. Disponível em: <<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/EvidenceReportFINALPRINTEDVERSIONlow-res.pdf>>. Acesso em: maio 2016.

_____. **Changing ozone profiles in Europe: implications for vegetation.** Gwynedd, 2012. 8 p. Disponível em: <<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/Brochureozonetrends.pdf>>. Acesso em: maio 2016.

HILL, A.C.; HEGGESTAD, H.E.; LINZON, S.N. Ozone. In: JACOBSON, S.; HILL, A. C. (Eds). **Recognition of Air Pollution Injury to Vegetation:** a pictorial atlas. Pittsburgh: Air Pollution Control Association, 1970. (TR 7 Agricultural Committee. Informative Report, 1)

MILLS, G.; WAGG, S.; HARMENS, H. **Ozone pollution:** impacts on ecosystem services and biodiversity: report prepared by the ICP Vegetation, Gwynedd: ICP Vegetation: CEH 2013, 108 p. Disponível em: <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/documents/ICPVegetationozoneecosystemservic esandbiodiversityreport2013_FULL.pdf>. Acesso em: maio 2016.

PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO₂ e de O₃ atmosférico: situação e previsões. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.1, p1-12, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n1/v70n1a02.pdf>>. Acesso em: maio 2016.

SÃO PAULO. **Decreto nº 59113, de 23 de abril de 2013.** Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>>. Acesso em: maio 2016.

UNITED STATES. EPA. **Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants.** v.3, July 1996. (EPA/600/p-93/004Af).

WANG, X.; MAUZERALL, D. L. Characterizing distributions of surface ozone and its impacts on grain production in China, Japan and South Korea: 1900 and 2020. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 26, p: 4383-4402, aug. 2004. Disponível em: <<https://www.princeton.edu/~mauzeral/papers/Wang.Mauzerall.Atmospheric.Environment.pdf>>. Acesso em: maio 2016.

WHO. **Photochemical oxidants.** Geneva, 1979. (Environmental Health Criteria, 7). Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc007.htm>>. Acesso em: maio 2016.

_____. Effects of ozone on vegetation: critical levels. **Air quality guidelines for Europe.** 2nd ed. Copenhagen, 2000. Chap. 12, p. 234-238. (WHO regional publications, european series; n. 91). Disponível em: <http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf>. Acesso em: maio 2016.

Apêndices

Apêndice A

Tabela A – Endereços das estações automáticas de monitoramento de ozônio

(continua)

UGRHI	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	VOCACIONAL	ENDEREÇO	COORD. UTM (SIRGAS 2000)	OBSERVAÇÕES
2	Jacareí	Industrial	Av. Nove de Julho, 745 Jd. Pereira do Amparo - Jacareí Escola Técnica Agrícola Cônego José Bento	23k 400987 7423581	Início da operação: 01/01/2011
	São José dos Campos	Industrial	Rua Ana Gonçalves Cunha, 40 Monte Castelo - São José dos Campos Obra Social Célio Lemos	23k 410840 7435414	
4	Ribeirão Preto	Em industrialização	Rua General Câmara, 157 Ipiranga- Ribeirão Preto Escola Estadual Edgardo Cajado	23k 206253 7658197	A partir de 20/08/2008, monitoramento com estação fixa
5	Americana	Industrial	Rua Suécia, 465 - Esquina com Av. Europa Vila Santa Maria - Americana	23k 259708 7485109	Início da operação: 01/01/2007
	Jundiaí	Industrial	Rua Amadeu Ribeiro, 500 Anhangabaú - Jundiaí Complexo Esportivo "Bolíão"	23k 305834 7433959	Início da operação: 14/10/2008
	Paulínia	Industrial	Praça Oadil Pietrobom, s/nº Vila Bressani - Paulínia	23k 278763 7480073	
	Paulínia - Sul	Industrial	Rua Angelo Pigatto Ferro, s/nº Bairro Santa Terezinha - Paulínia	23k 280664 7478496	Início da operação: 04/03/2008
	Piracicaba	Industrial	Av. Monsenhor Martinho Salgot, 560 Vila Areão - Piracicaba Campus FUMEP	23k 227797 7487124	Início da operação: 02/09/2008
6	Capão Redondo	Industrial	Estrada de Itapeperica, 5859 Capão Redondo - São Paulo Campus UNASP	23k 318469 7381358	Início da operação: 01/09/2012
	Cid. Universitária - USP - IPEN	Industrial	Av. Profº Lineu Prestes, 2242 Cidade Universitária - São Paulo IPEN-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	23k 322680 7392709	Início da operação: 01/01/2007
	Ibirapuera	Industrial	Parque do Ibirapuera s/nº - setor 25 Moema - São Paulo	23k 330545 7389978	
	Interlagos	Industrial	Rua Domingas Galleteri Blota, 171 Campo Grande - São Paulo Hospital Geral Pedreira	23k 329195 7380142	Início da operação: 27/02/2012
	Itaim Paulista	Industrial	Rua Jaguar, 225 Itaim Paulista - São Paulo Biblioteca Municipal Vicente Paulo Guimarães	23k 354934 7400240	Início da operação: 03/07/2012
	Itaquera	Industrial	Av. Fernando do Espírito Santo Alves de Matos, 1000 Parque do Carmo - São Paulo SESC Itaquera	23k 350334 7391504	Início da operação: 09/08/2007
	Moóca	Industrial	Rua Bresser, 2341 Moóca - São Paulo Centro Esportivo Municipal - Subprefeitura da Moóca	23k 336644 7394711	
	Nossa Senhora do Ó	Industrial	Rua Cap.José Amaral, 80 Vila Portuguesa - São Paulo Escola Estadual Cacilda Becker	23k 327198 7402315	
	Parelheiros	Industrial	Av. Paulo Guilguer Reimberg, 2448 Jd. Novo Horizonte - São Paulo E.E.Pres.Tancredo de Almeida Neves	23k 327086 7369511	Início da operação: 22/06/2007
	Parque D. Pedro II	Industrial	Parque D. Pedro II, s/nº Centro - São Paulo Palácio das Indústrias	23k 333855 7395221	Mudança de local em nov2004
	Pinheiros	Industrial	Av. Prof.Frederico Hermann Jr., 345 Alto de Pinheiros - São Paulo CETESB	23k 326287 7393293	
	Santana	Industrial	Av. Santos Dumont, 1019 Santana - São Paulo Parque de Material Aeronáutico	23k 333675 7399522	
	Santo Amaro	Industrial	Rua Padre José Maria 555, acesso pela Rua Humboldt Santo Amaro - São Paulo Centro Educacional e Esportivo Municipal Joerg Brüder	23k 325596 7382927	

Tabela A – Endereços das estações automáticas de monitoramento de ozônio

(conclusão)

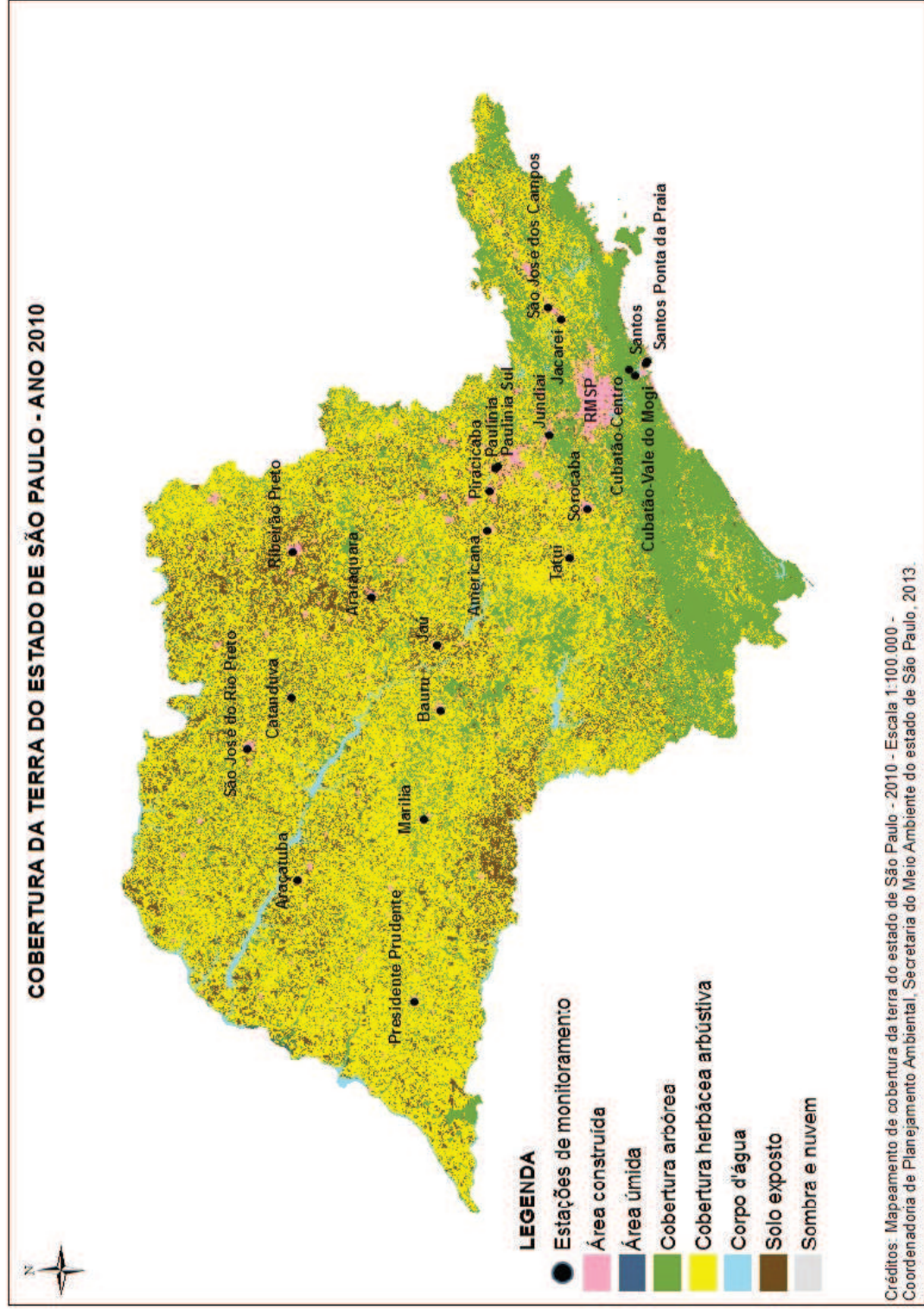
UGRHI	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	VOCACIONAL	ENDEREÇO	COORD. UTM (SIRGAS 2000)	OBSERVAÇÕES
6	Carapicuíba	Industrial	Av. Inocêncio Seráfico, esquina com Rua São Miguel Carapicuíba Reservatório da SABESP	23k 312589 7396454	Início da operação: 27/02/2012
	Diadema	Industrial	Rua Benjamin Constant, 3 Vila Diadema - Diadema Prefeitura Municipal de Diadema	23k 335670 7379622	
	Guarulhos - Paço Municipal	Industrial	Rua João Bernardo Medeiros, 173 Bom Clima - Guarulhos Paço Municipal	23k 344893 7405233	Início da operação: 27/02/2012
	Mauá	Industrial	Rua Vitorino Dell Antonia, 150 Vila Noêmia - Mauá E.E. Professora Terezinha Sartori	23k 350501 7391701	
	Santo André - Capuava	Industrial	Rua Manágua, 2 Parque Capuava - Santo André Posto de Puericultura do Alto de Capuava	23k 347853 7384857	
	São Bernardo do Campo-Centro	Industrial	Rua dos Vianas, 625 - Vila Baeta Neves São Bernardo do Campo	23k 342354 7378279	Início da operação: 02/04/2014
	São Caetano do Sul	Industrial	Av. Presidente Kennedy, 700 Santa Paula - São Caetano do Sul Hospital Municipal de Emergências Albert Sabin	23k 341225 7387152	Até 12/12/2007, monitoramento na R. Aurélio, 257, Vila Paula
7	Cubatão - Centro	Industrial	Rua Salgado Filho, 121 Pq. Fernando Jorge - Cubatão Centro Social Urbano de Cubatão	23k 355580 7358443	
	Cubatão - Vale do Mogi	Industrial	Av. Engº Plínio de Queiróz, s/nº Jardim São Marcos - Cubatão	23k 360510 7363745	Início da operação: 05/04/2006
	Santos	Industrial	Rua Dr. Oswaldo Cruz, 197 Boqueirão - Santos Hospital Guilherme Álvaro	23k 365576 7349234	Início da operação: 07/06/2011
	Santos Ponta Praia - EM	Industrial	Praça Engº José Rebouças, s/nº Ponta da Praia - Santos	23k 367697 7347234	Início da operação: 18/11/2011
9	Pirassununga - EM	Em industrialização	Rua XV de Novembro, 2448 Centro - Pirassununga	23k 249384 7564329	Monitoramento com estação móvel de 02/06/2012 a 12/07/2013
10	Sorocaba	Industrial	Rua Nhonhô Pires, 260 Vila Lucy - Sorocaba Escola Estadual Monsenhor João Soares	23k 246841 7398675	
	Tatuí	Industrial	Rua Ruy Barbosa, 601 Vila Valinho - Tatuí Escola de Enfermagem Dr. Gualter Nunes	23k 206499 7413627	Início da operação: 01/01/2011
13	Araraquara	Em industrialização	Av. Angelo Hortence, 1990 Centro - Araraquara Ginásio da Pista Guilherme Fragoço Ferrão / Centro Esportivo Domingos Sávio	22k 791007 7588591	Início da operação: 11/07/2008
	Bauru	Em industrialização	Rua Castro Alves, Q4 Vila Souto - Bauru 12º Grupamento de Bombeiros	22k 696439 7529779	Início da operação: 09/05/2008
	Jaú	Em industrialização	Rua 24 de Maio, 943 Vila Nova Jaú - Jaú 27ª Batalhão da Polícia Militar do Interior	22k 750614 7532100	Início da operação: 25/09/2008
15	Catanduva	Agropecuária	Rua Fortaleza, 1310 Vila Rodrigues - Catanduva Reservatório Santo Antônio (Caixa D'Água)	22k 709450 7660813	Início da operação: 15/04/2009
	São José do Rio Preto	Agropecuária	Rua Jales, 3055 Eldorado - São José do Rio Preto Campo Atletismo Eldorado	22k 666719 7700854	Início da operação: 23/04/2008
19	Araçatuba	Agropecuária	Rua Clovis Pestana, 801A Jd. Dona Amélia - Araçatuba UNESP - Campus da Odontologia	22k 558199 7657071	Início da operação: 20/08/2008
21	Marília	Agropecuária	Rua Pascoal Moreira, 250 Lorenzetti - Marília Unidade Básica de Saúde	22k 607206 7544689	Início da operação: 30/04/2008
22	Presidente Prudente	Agropecuária	Rua Roberto Simonsen, 464 Vila Sta. Helena - Presidente Prudente UNESP - Laboratório de Climatologia	22k 457841 7553841	Início da operação: 15/05/2008

Tabela B – Máximos trimestrais de AOT40 e valores médios

RMSP		AOT40 Máximo trimestral						MÁXIMA de AOT40	MÉDIA de AOT40			
		2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	(2008/2014)	(2008/2014)	(2010/2014)	(2012/2014)
São Paulo	Capão Redondo	13.162	8.604	14.379					14.379	12.048	12.048	12.048
	Cid. Universitária USP-Ipen	25.752	10.665	19.683	25.289	13.905	11.400	12.996	25.752	17.099	19.059	18.700
	Ibirapuera	21.696	17.876	24.548	23.004	17.792	11.243	9.914	24.548	18.010	20.983	21.374
	Interlagos	21.534	10.463	14.408					21.534	15.468	15.468	15.468
	Itaim Paulista	14.475	7.717	13.212					14.475	11.801	11.801	11.801
	Itaquera	15.025	9.689	15.262	16.572	11.876			16.572	13.685	13.685	13.325
	Moóca	12.651	8.699	19.030	8.044	8.967	9.482	8.477	19.030	10.764	11.478	13.460
	Nossa Senhora do Ó	16.240	9.457	16.438	10.756	7.912	7.864	11.494	16.438	11.452	12.161	14.045
	Parelheiros	11.058	4.122	10.064	5.746	4.488			11.058	7.096	7.096	8.415
	Pinheiros	11.080	5.894	11.748	14.619	9.247	5.135	3.810	14.619	8.790	10.518	9.574
	Parque D. Pedro II	13.795	8.379	10.817	10.042	11.971	5.081	4.771	13.795	9.265	11.001	10.997
	Santana	17.887	8.311	15.553	11.972	11.356	9.588	14.352	17.887	12.717	13.016	13.917
	Santo Amaro	15.063	7.141	13.247		9.203	9.759	9.085	15.063	10.583	11.163	11.817
	Demais Municípios da RMSP	Carapicuíba	18.001	7.437	13.770					18.001	13.069	13.069
Diadema		13.154	8.118	12.064	10.655	7.915	5.318	5.333	13.154	8.937	10.381	11.112
Guarulhos-Paço Municipal		11.012	7.340	14.684					14.684	11.012	11.012	11.012
Mauá		15.262	12.788	17.896	12.219	13.181	9.609	11.506	17.896	13.209	14.269	15.315
Santo André-Capuava		20.180	9.845	18.692	10.171	10.582	8.793	7.498	20.180	12.251	13.894	16.239
São Bernardo do Campo-Centro		17.210										
São Caetano do Sul		13.179	6.846	22.608	22.670	14.389	11.331	7.105	22.670	14.018	15.938	14.211
INTERIOR		AOT40 Máximo trimestral						MÁXIMA de AOT40	MÉDIA de AOT40			
		2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	(2008/2014)	(2008/2014)	(2010/2014)	(2012/2014)
Unidade Vocacional Industrial	Americana	16.867	7.418	16.554	12.425	13.890	11.281	11.833	16.867	12.896	13.431	13.613
	Jacaré	13.285	4.958	13.607	9.718				13.607	10.392	10.392	10.616
	Jundiaí	21.017	12.878	21.529	16.917	7.855	10.173	12.570	21.529	14.706	16.039	18.475
	Paulínia	21.470	15.579	27.910	24.494	22.819	13.243	16.288	27.910	20.258	22.455	21.653
	Paulínia Sul	17.408	11.268	19.079	19.700	19.283	13.135	10.511	19.700	15.769	17.348	15.919
	Piracicaba	23.341	15.623	18.817	12.589	16.656	14.391	18.636	23.341	17.150	17.405	19.260
	São José dos Campos	9.137	3.231	16.784	9.928	16.406	6.347	5.364	16.784	9.600	11.097	9.717
	Sorocaba	15.584	8.872	14.630	4.360	7.963	5.161	6.357	15.584	8.990	10.282	13.029
	Tatuí	15.597	6.492	13.419	8.955				15.597	11.116	11.116	11.836
Baixada Santista	Cubatão-Centro	6.721	4.246	4.857	9.936	14.528	4.706	3.611	14.528	6.944	8.058	5.275
	Cubatão-Vale do Mogi	4.033	4.869	2.933	3.242	6.051	2.652		6.051	3.963	4.226	3.945
	Santos	1.826	3.099	3.083	3.074				3.099	2.771	2.771	2.670
	Santos Ponta da Praia - EM	1.077	1.017	974					1.077	1.023	1.023	1.023
Unidades Vocacionais Em Industrialização e Agropecuária	Araçatuba	9.886	7.123	19.505	10.979	10.977	3.997	7.563	19.505	10.004	11.694	12.171
	Araraquara	8.589	10.578	18.939	5.773	11.377	3.729	7.212	18.939	9.457	11.051	12.702
	Bauru	11.212	6.057	13.690	6.004	7.852	2.560	5.019	13.690	7.485	8.963	10.320
	Catanduva	11.801	4.033	10.967	7.205	10.174	2.908		11.801	7.848	8.836	8.934
	Jau	10.309	6.265	16.147	11.064	17.121	2.584	5.650	17.121	9.877	12.181	10.907
	Marília	10.868	5.015	13.066	10.060	12.314	3.036	2.967	13.066	8.189	10.264	9.650
	Pirassununga-EM		3.352	9.221								
	Presidente Prudente	16.808	5.784	14.359	4.029	9.137	1.713	4.332	16.808	8.023	10.023	12.317
	Ribeirão Preto	4.899	15.525	4.173	7.442	1.455	5.590		15.525	5.583	6.408	6.808
São José do Rio Preto	10.067	5.204	16.236	8.259	14.042	4.281	7.776	16.236	9.409	10.761	10.502	

Apêndice B

Mapa A – Cobertura da Terra do Estado de São Paulo





CETESB



Sistema Ambiental Paulista



GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO

Secretaria do Meio Ambiente

