



**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

**ESTUDO INVESTIGATIVO  
DA OCORRÊNCIA DE OZÔNIO  
TROPOSFÉRICO POR MEIO DE  
BIOMONITORAMENTO, NO  
MUNICÍPIO DE RIO GRANDE DA SERRA**

**SÃO PAULO  
2009**

**Edição****Diretoria de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental***Ana Cristina Pasini da Costa***Departamento de Qualidade Ambiental***Eng. Carlos Eduardo Komatsu***Divisão de Qualidade de Águas e do Solo***Eng. Nelson Menegon Junior***Setor das Águas Subterrâneas e do Solo***Rosângela Pacini Modesto***Elaboração Técnica :***Biól. Gisela Vianna Menezes**Biól. Gilmar Issa Gallo**Biól. Mara Magalhães Gaeta Lemos**Biól. Paulo Fernando Rodrigues**Biól. Fábio Neto Moreno**Geogr. Rosângela Pacini Modesto**Estag. Ariana Rodrigues Yamada***Colaboração :***Akira Auriani – Rio Grande da Serra**Quim. Jesuíno Romano**Est. Yoshio Yanagi**Departamento de Qualidade Ambiental**Divisão de Qualidade do Ar - TQQ**Setor de Meteorologia e Interpretação de Dados - TQQM**Setor de Telemetria - TQQT***Agradecimentos :***Prefeitura Municipal de Rio Grande da Serra**Escolas da Rede Municipal de Rio Grande da Serra**Proprietários das casas particulares onde foram expostas as plantas**Quím. Jesuíno Romano**Setor de Operação e Manutenção de Transportes – AAAT**Universidade da Carolina do Norte***Distribuição :** CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros

Tel. 3133.3000 - CEP 05459-010 - São Paulo/SP - Brasil

**Endereço Internet:** <http://www.cetesb.br>

**DOCUMENTO**

<i>Tipo</i>	<i>Data</i>	<i>Origem</i>	<i>Nº Página / V</i>	<i>Nº Mapas</i>
Relatório	2009	TQAA		

**TÍTULO DO DOCUMENTO**

Estudo Investigativo da Ocorrência de Ozônio Troposférico por meio de Biomonitoramento, no Município de Rio Grande da Serra - SP

**AUTOR RESPONSÁVEL**

*Assinatura / Carimbo / Data*

*Rosângela Pacini Modesto  
Gerente do Setor de Águas Subterrâneas e Solo*

**AUTORES / ENTIDADES OU UNIDADES A QUE PERTENCEM**

*Biól. Gisela Vianna Menezes  
Biól. Mara Magalhães Gaeta Lemos  
Biól. Gilmar Issa Gallo  
Biól. Paulo Fernando Rodrigues  
Biól. Fábio Neto Moreno  
Geogr. Rosângela Pacini Modesto  
Estag. Ariana Rodrigues Yamada*

**DOCUMENTO AUTORIZADO POR**

*Assinatura / Carimbo / Data*

*Eng. Nelson Menegon Junior  
Gerente da Divisão de Qualidade de Águas e Solo*

**DOCUMENTO REVISADO**

*Assinatura / Carimbo / Data*

*Maria Helena R. B. Martins  
Gerente da Divisão de Qualidade do Ar*

**CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA**

Externa     Interna

Reservada

**PALAVRAS CHAVES**

1. Ozônio 2. Biomonitoramento do ar 3. Bioindicador vegetal 4. Rio Grande da Serra – ocorrência de ozônio 5. Ar – poluição 6. Tabaco 7. *Nicotiana tabacum* 8. AOT40

**CÓDIGO E TÍTULO DO PROJETO**

41 200300 Avaliação da Qualidade do Ar por meio de teste com amostras vegetais

**DISTRIBUIÇÃO INTERNA**

*Áreas / Nº de Cópias*

TQAA (2) - TQA (1)- TQQ (1) – Biblioteca (2)

**USO DA BIBLIOTECA***Classificação de Assunto**Nº Documento**Visto / Carimbo / Data***TÍTULO DO DOCUMENTO**

Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Rio Grande da Serra - SP

**RESUMO**

A CETESB, em função de sua atribuição de controle de poluição no Estado de São Paulo, desenvolve estudos que visam à investigação sobre a ocorrência de poluentes atmosféricos, principalmente para aqueles poluentes legalmente regulamentados, que apresentam padrões de qualidade. Embora benéfico na estratosfera, onde forma uma camada protetora contra efeitos danosos da radiação ultravioleta, o ozônio tem efeitos tóxicos nas camadas mais baixas da atmosfera. O ozônio tem alto poder oxidativo e, por isso, é muito tóxico às plantas, podendo causar danos consideráveis às espécies vegetais nativas e culturas agrícolas.

A CETESB desenvolve, desde a década de 80, estudos com bioindicadores vegetais como ferramenta às ações de prevenção e controle para diversos poluentes atmosféricos, destacando ozônio, fluoretos gasosos, dióxido de enxofre, amônia, chumbo, entre outros.

A Prefeitura Municipal de Rio Grande da Serra solicitou à CETESB, por meio do ofício GP nº 082.08.07, de 14 de agosto de 2007, uma avaliação da qualidade do ar com relação ao ozônio troposférico, para embasar o pedido de tornar-se estância turística conforme a Lei Estadual 1457 de 11 de novembro de 1977 e regulamentada pelo Decreto Estadual 11.022 de 28 de dezembro de 1977.

Neste contexto, o Setor de Qualidade do Solo e Vegetação – ESSE realizou um biomonitoramento, utilizando a variedade de tabaco *Nicotiana tabacum* Bel W3, com o objetivo de dimensionar qualitativamente e mapear a ocorrência do ozônio troposférico no Município de Rio Grande da Serra. Para realizar a avaliação da presença de ozônio solicitada foram selecionados seis locais, em função de sua distribuição espacial, na área territorial de Rio Grande da Serra. A metodologia utilizada tem como base a exposição por 28 dias de seis indivíduos de tabaco em cada local selecionado. A avaliação do efeito do ozônio nos indivíduos de tabaco expostos em cada ponto de monitoramento é realizada por meio de estimativa da percentagem da área foliar com injúrias visíveis.

Os resultados obtidos com o biomonitoramento, realizado no Município de Rio Grande da Serra com *Nicotiana tabacum* Bel W3, mostraram injúrias foliares, características do efeito fitotóxico do ozônio troposférico. Apesar disto, as medianas dos níveis de injúrias foliares foram inferiores a 5% em todos os pontos nas campanhas 1 (início da primavera de 2008), 2 (primavera de 2008) e 5 (início do outono de 2009). Na terceira campanha (final da primavera de 2008), dois pontos de monitoramento tiveram medianas superiores a 5% e inferiores a 15% e, na quarta campanha (verão de 2009), um ponto.

Considerando a metodologia que vem sendo adotada pela CETESB, com a utilização dos dados de mediana e do índice de Injúrias foliares, este estudo indica a presença de ozônio troposférico no município de Rio Grande da Serra é superior ao de Biritiba-Mirim e próxima ao município de Cabreúva.

**OBSERVAÇÕES**

# SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>IV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
2.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	4
2.1. METODOLOGIA.....	5
2.2.1. <i>Crerios de avaliação das injurias foliares</i> .....	9
2.2.2. <i>Interpretação Estatística</i> .....	9
2.2.3. <i>Cculo do ndice de Injurias foliares – LII</i> .....	10
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>11</b>
3.1. SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	11
3.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	14
3.3. RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PONTOS DE REFERÊNCIA.....	21
3.4. VISUALIZAO ESPACIAL DOS RESULTADOS .....	21
3.5. ÍNDICE DE INJURIAS FOLIARES – LII .....	22
3.6. COMPARAO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS COM O BIOMONITORAMENTO NOS MUNICÍPIOS DE BIRITIBA-MIRIM, CABREÚVA E RIO GRANDE DA SERRA.....	23
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>25</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Prefeitura Municipal de Rio Grande da Serra solicitou à CETESB, por meio do Ofício GP nº 082.08.07, de 14 de agosto de 2007, uma avaliação da qualidade do ar com relação ao ozônio, para embasar o pedido de tornar-se estância turística conforme a Lei Estadual 1457 de 11 de novembro de 1977, regulamentada pelo Decreto Estadual 11.022 de 28 de dezembro de 1977.

A CETESB, em função de sua atribuição de controle da poluição no Estado de São Paulo, desenvolve estudos que visam à investigação sobre a ocorrência de poluentes atmosféricos, principalmente para aqueles legalmente regulamentados, que apresentam padrões de qualidade.

Um padrão de qualidade do ar (PQAR) define legalmente o limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que garanta a proteção da saúde e do bem estar das pessoas (CETESB, 2006). Na Portaria Normativa n.º 348 de 14/03/90, o IBAMA estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar que foram transformados na Resolução CONAMA n.º 03, de 28 de junho de 1990.

São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar:

- Padrões primários - concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.
- Padrões secundários - concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Esse padrão deve ser aplicado, por exemplo, em parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.

A Resolução CONAMA nº 03/90 estabelece para o ozônio a concentração máxima de 160 µg/m<sup>3</sup> em 1 hora como padrão primário e secundário, não devendo ser excedido mais que uma vez ao ano.

Embora benéfico na estratosfera, onde forma uma camada protetora contra efeitos danosos da radiação ultravioleta, tem efeitos tóxicos nas camadas mais baixas da atmosfera, por afetar diretamente os seres vivos. O ozônio tem alto poder oxidativo e, por isso, é muito tóxico às plantas, podendo causar danos consideráveis às espécies vegetais nativas e culturas agrícolas (Swanson *et al.* 1973, Freedman 1995, Liu e Reddley 1999, Zeiger 2002, *apud* Pedroso 2006).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2006) estimou perdas agrícolas anuais da ordem de 500 milhões de dólares causadas pelo ozônio, sem incluir os danos às folhagens de árvores e outras plantas, que afetam a paisagem das cidades, áreas de recreação, parques urbanos e áreas de vegetação natural. No Brasil ainda não existem estudos que dimensionem perdas agrícolas.

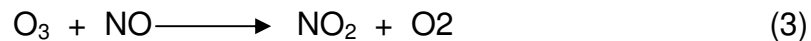
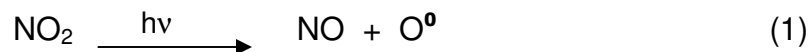
Na Europa, Fuhrer e Achermann (1994), a partir de experimentos com vegetação, estabeleceram o valor de 40ppb ( $78,4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ) como crítico para vegetação, acima do qual pode ocorrer efeitos a receptores sensíveis, tais como plantas e ecossistema. A partir dessa concentração foi aplicado um índice referente à exposição acumulada acima de 40ppb ou AOT40 (Fuhrer *et al.* 1997). Tal índice é a soma de todos os valores horários que excedem 40ppb, por exemplo, o valor de 45ppb observado em uma hora, significa AOT40 = 5ppb.

A CETESB (2006) adota como valores de referência as concentrações preconizadas pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2000), que indica a AOT40 de 3.000ppb de ozônio (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) e 200ppb (ou aproximadamente  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), acumulados durante o período de 5 dias, como Valor de Referência para o Aparecimento de Injúrias visíveis em plantas sensíveis.

O ozônio não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera por meio da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar (CETESB, 2004).

Os óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>) são lançados na atmosfera por meio de processos de combustão (veicular e industrial). Já os compostos orgânicos voláteis resultam das emissões de processos evaporativos, da queima incompleta de combustíveis automotivos e em processos industriais (CETESB, 2004).

A formação do ozônio na troposfera inicia-se pela fotólise do NO<sub>2</sub> (equação 1). O oxigênio monoatômico gerado reage com o oxigênio diatômico presente na atmosfera, formando o ozônio (equação 2). Na presença de NO, o ozônio reage rapidamente para regenerar o NO<sub>2</sub> (equação 3).



Dessa maneira, o ozônio (O<sub>3</sub>) mantém-se em estado estacionário, que depende da velocidade de fotólise do NO<sub>2</sub> e da razão [NO<sub>2</sub>]/[NO]. Se nenhum outro processo convertesse NO em NO<sub>2</sub>, a concentração de ozônio troposférico não aumentaria significativamente. No entanto, na presença dos compostos orgânicos voláteis, as concentrações de ozônio aumentam, uma vez que o NO é convertido a NO<sub>2</sub>, via formação de radicais livres. Assim, a velocidade de formação do ozônio depende da quantidade e da reatividade de cada um desses compostos (CETESB, 2004).

Concentrações mais 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 (CETESB, 2007a).

Além da complexidade do sistema de reações químicas, fatores meteorológicos e topográficos fazem com que os gases precursores emitidos sejam transportados a diversos locais, resultando em níveis altos de ozônio em locais distantes das fontes dos precursores, muitas vezes ocorrendo até mesmo em regiões sem fontes significativas de poluição.

O biomonitoramento é um dos instrumentos de avaliação da qualidade ambiental em locais com suspeita de poluição e constitui, efetivamente, uma maneira de avaliar, de forma simples e economicamente viável, a presença de ozônio troposférico (Shugart, 1994).

Enquanto os índices obtidos por instrumentos, se restringem a um momento específico de observação da poluição ambiental, sem informar sobre os efeitos que ela provoca ao longo do tempo, os bioindicadores apesar de levarem mais tempo para apresentar resultados e fornecer informações menos precisas, complementam àquelas obtidas pelos sensores automatizados (Prado Filho, 1993).

Os bioindicadores podem ser definidos como organismos ou comunidades de organismos que respondem à poluição ambiental, por modificar suas funções vitais, ou acumular toxinas (Ardnt, 1989). Segundo Figueiredo (1994), as plantas apresentam-se como excelentes sensores do impacto ambiental causado por estresses.

Segundo Temmerman et al. (2004 *apud* Pedroso 2006), plantas bioindicadoras são aquelas que apresentam sintomas visíveis como necroses, cloroses e distúrbios fisiológicos.

Desde 1962, a variedade de tabaco *Nicotiana tabacum* L. Bel W3, tem sido usada como um bioindicador da presença de diferentes concentrações de ozônio. Após algumas semanas de exposição de folhas novas, totalmente expandidas, podem ser verificados sintomas visíveis. Essa espécie desenvolve, primeiramente, lesões bifaciais e mostram diferenças nas quantidades de injúrias agudas e crônicas, quando expostas à diferentes doses de exposição em ambientes controlados e sob condições de campo (Heggstad, 1991). A figura 1 apresenta fotos de exemplares dessa variedade de tabaco, com e sem injúria foliar característica do efeito fitotóxico do ozônio.

O biomonitoramento tornou-se uma prática comum em países do hemisfério norte, principalmente na Europa (Pedroso, 2006). Diversos países têm desenvolvido estudos de mapeamentos do ozônio, utilizando-se, principalmente, o tabaco como bioindicador, destacando-se aqueles realizados na Espanha (Gimeno *et al.*, 1995; Penuelas *et al.*, 1999), Estônia (Koppel & Sild, 1995), Itália (Nali *et al.*, 1998; Allegrini *et al.*, 1994), França (Garrec & Radnai, 1996), Reino Unido (Fowler *et al.*, 1995; Ashmore *et al.*, 1980), China (Garrec *et al.*, 1998), Ucrânia (Blum *et al.*, 1997) e em várias regiões norte americanas (Kelleher & Feder, 1978).

No Brasil, os estudos dos efeitos de poluentes na vegetação são recentes e vêm sendo desenvolvidos por poucos grupos de pesquisa. Foram realizados alguns estudos com plantas bioindicadoras para avaliar o efeito da poluição atmosférica para algumas cidades do país, como Salvador (Lima *et al.*, 2000 ; Klumpp *et al.*, 2003), São Paulo (Domingos *et al.*, 1998 e 2002; Batalha *et al.*, 1999; Ferreira *et al.*, 2000; Guimarães *et al.*, 2000; Moraes *et al.*, 2002 e Alves *et al.*, 2003); Viçosa (Prado Filho, 1993; Figueiredo, 1994; Chaves *et al.*, 2002 e Silva *et al.*, 2005); Curitiba (Alves, 2001 e Bujokas, 2001).





**Figura 1 – Exemplares de *Nicotiana tabacum* Bel W3 com folhas saudáveis (esquerda) e com injúrias (direita) características do efeito fitotóxico do ozônio.**

A CETESB desenvolve, desde a década de 80, estudos com indicadores vegetais como ferramenta às ações de prevenção e controle para diversos poluentes atmosféricos, destacando ozônio, fluoretos gasosos, dióxido de enxofre, amônia, chumbo, entre outros (Pompeia *et al.*, 1988 e 1989; Azevedo *et al.*, 1990, 1994a e 1994b; Diniz *et al.*, 1994; Fialho *et al.*, 1994; Pradella *et al.*, 1999a e b; CETESB, 1996 e 2004).

Neste contexto, o Setor de Qualidade do Solo e Vegetação – ESSE realizou um biomonitoramento, no período de setembro de 2008 a abril de 2009, utilizando a variedade de tabaco *Nicotiana tabacum* Bel W3, com o objetivo de dimensionar qualitativamente e mapear a ocorrência do ozônio troposférico em concentrações prejudiciais ao meio ambiente na área territorial de Rio Grande da Serra.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Localização e caracterização da área de estudo**

Rio Grande da Serra é um município do Estado de São Paulo, localizado na região metropolitana e está totalmente inserido em área de proteção de mananciais. A população em 2008 era de 43.115 habitantes e a área é de 36,67 km<sup>2</sup>, o que resulta numa densidade demográfica de 1.175,76 hab/km<sup>2</sup> (SEADE, 2009).

Segundo o censo de 2000, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) do município de Rio Grande da Serra é igual a 0,764 que corresponde a 437<sup>o</sup> posição entre os municípios paulistas. Informações de 2006 mostram que o município participa com 0,036% do PIB do estado (SEADE, 2009).

Devido ao fato de pertencer à Região Metropolitana de São Paulo, onde grandes quantidade de poluentes são lançados diariamente na atmosfera principalmente por veículos automotores, parte dos poluentes emitidos pode chegar ao município de Rio Grande da Serra. A região de Rio Grande da Serra é abrangida pelo monitoramento realizado nos municípios de São Paulo, Diadema, São Caetano do Sul, Santo André e Mauá e por estes monitoramentos foi classificada pela CETESB como saturada para o poluente ozônio.

O clima do município de Rio Grande da Serra, que possui altitude igual 739 metros, assim como a maior parte do Estado de São Paulo, é caracterizado, segundo Koeppen, como clima tropical de altitude (Cwa) com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura do mês mais quente superior a 22°C (CEPAGRI, 2009). A **tabela 1** mostra os valores mensais de precipitação média e temperaturas (média, máxima e mínima):

**Tabela 1: Valores mensais de precipitação média e temperaturas (média, máxima e mínima).**  
Fonte: CEPAGRI, 2009.

Mês	Temperatura do Ar (C)			Chuva (mm)
	Mínima média	Máxima média	Média	
Jan	17,5	28,7	23,1	216,8
Fev	17,8	28,7	23,2	181,7
Mar	16,9	28,2	22,6	146,5
Abr	14,2	26,1	20,2	63,5
Mai	11,5	24,1	17,8	62,0
Jun	9,9	22,8	16,4	41,6
Jul	9,3	23,0	16,1	30,5
Ago	10,5	24,7	17,6	31,4
Set	12,4	25,7	19,0	67,3
Out	14,2	26,5	20,3	113,6
Nov	15,2	27,4	21,3	119,4
Dez	16,7	27,6	22,2	183,5
Ano	13,8	26,1	20,0	1257,8
Mín	9,3	22,8	16,1	30,5
Máx	17,8	28,7	23,2	216,8

## 2.1. Metodologia

A metodologia utilizada foi adaptada de Lorenzini *et al.* (1999) e tem como base a exposição de indivíduos de tabaco da variedade *Nicotiana tabacum* Bel W3, por período de 28 dias, em locais selecionados que abrangem a área territorial do município de Rio Grande da Serra.

Foram selecionados seis pontos para o biomonitoramento, que são descritos na **tabela 2**. Utilizou-se a Cetesb – Pinheiros como ponto de referência (PR), sendo expostas as plantas ao lado da estação automática de medição de poluentes. Nas duas últimas campanhas de

monitoramento, também foram expostas plantas ao lado da estação automática do Parque do Ibirapuera.

**Tabela 2: Descrição dos pontos de monitoramento selecionados para o Município de Rio Grande da Serra.**

PONTO	LOCAL	Direção	Latitude UTM-E (m)	Longitude UTM-N (m)
1	Biblioteca Municipal	centro	0357675	7372826
2	Vila Figueiredo	centro	0357402	7573243
3	Rua Anabela	oeste	0356289	7373099
4	Escola Estadual Padre Giuseppe Pisoni	norte	0358176	7375036
5	Escola.Estadual. Poetisa Cora Coralina	sul	0356251	7371423
6	Pedreira	leste	0360975	7373066

**Observação:**Projeção UTM, Fuso 23, Meridiano Central 45° e Datum horizontal SAD-69.

Para visualização espacial, os resultados foram plotados na imagem de satélite da região disponível no Google Earth (**Figura 2**).

Em 2007, a CETESB recebeu sementes da Universidade Estadual da Carolina do Norte, atualmente as plantas são cultivadas na casa de vegetação localizada na sede da CETESB.

A germinação é realizada em bandejas, denominadas sementeiras, mantidas por aproximadamente três semanas até o estágio de plântulas. Após esse período as plântulas são transferidas para vasos plásticos, onde permanecem por aproximadamente duas semanas, até atingirem o estágio de desenvolvimento apropriado para exposição - 3 a 4 folhas totalmente expandidas.

A atmosfera no interior da casa de vegetação é mantida em condições de temperatura ambiente e as plantas são cultivadas em substrato agrícola padronizado "Plantmax", em campânulas fechadas com atmosfera isenta de ozônio, garantida por meio da filtragem do ar por carvão ativado.

A irrigação adequada é realizada por meio de sistema de auto-rega, a partir de cordões de náilon, que apresentam uma das pontas previamente inserida nos vasos e a outra em contato com água. As plantas são mantidas em bandejas com água.

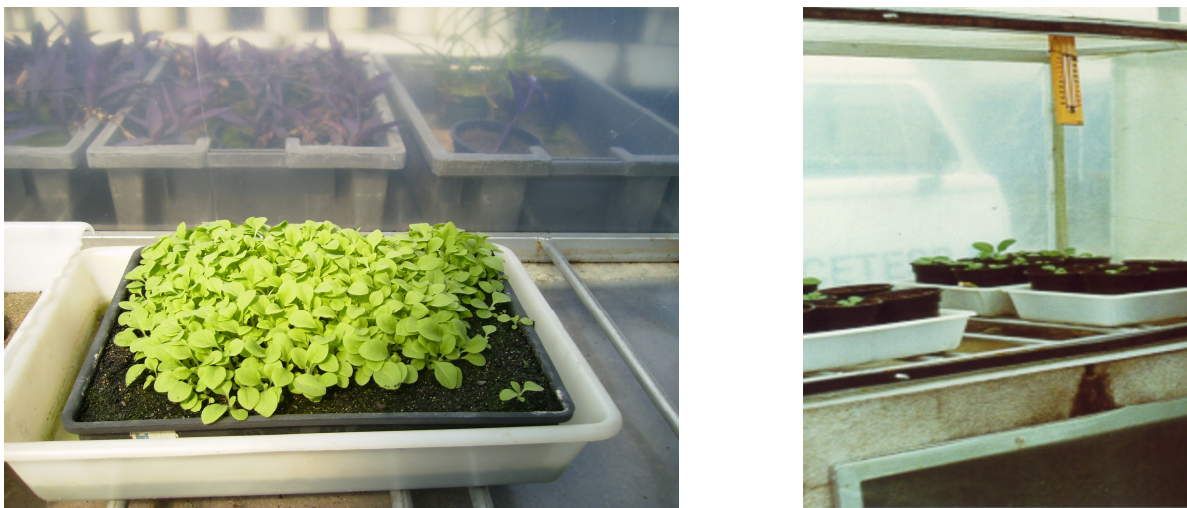
Em cada ponto monitorado são expostas individualmente seis plantas, em vasos que possuem o sistema de auto-rega, protegidas por sombrite (50%), de forma a evitar o impacto direto da chuva. A **figura 3** apresenta os indivíduos de *N. tabacum* na casa de vegetação

antes da exposição e detalhes do sistema de auto-rega, enquanto que a **figura 4** ilustra o aspecto das plantas no início do experimento e após 28 dias de exposição.



**Figura 2 – Imagem da região do Município de Rio Grande da Serra com os pontos de coleta. (Acesso em: janeiro de 2009).**





**Figura 3 – Sementeira e exemplares da variedade de tabaco nos vasos plásticos antes da exposição nas câmpulas da casa de vegetação na CETESB.**



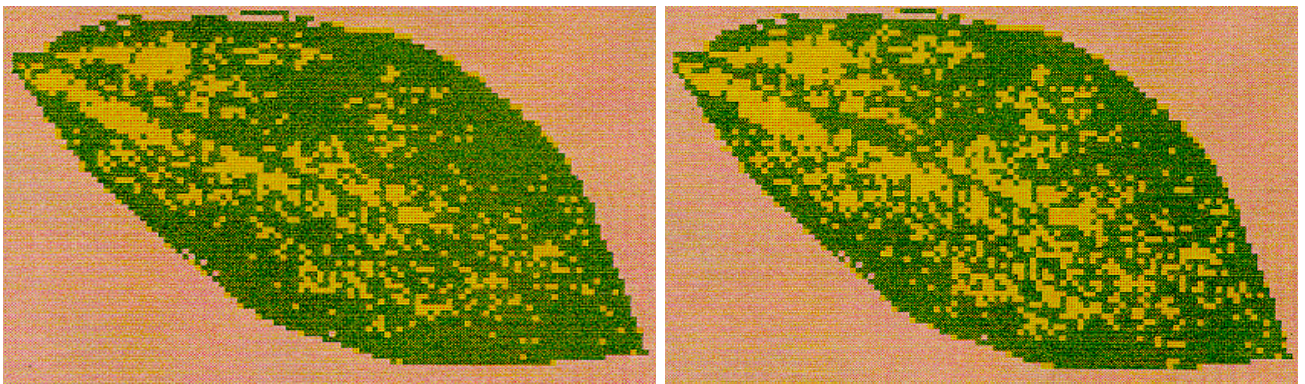
**Figura 4 – Aspecto das plantas no início de experimento e após 28 dias de exposição.**

As exposições foram realizadas em cinco campanhas nos seguintes períodos:

- 1ª Campanha - 25 de setembro a 23 de outubro de 2008 (início da primavera de 2008);
- 2ª Campanha – 23 de outubro a 20 de novembro de 2008 (primavera de 2008);
- 3ª Campanha – 01 a 29 de dezembro de 2008 (final da primavera de 2008);
- 4ª Campanha – 09 de fevereiro a 09 de março de 2009 (verão de 2009); e
- 5ª Campanha – 02 de abril a 29 de abril 2009 (início do outono de 2009).

### 2.2.1. Critérios de avaliação das injúrias foliares

- A avaliação do efeito do ozônio nos indivíduos de tabaco, expostos em cada ponto de amostragem, foi feita por meio de uma estimativa da percentagem da área foliar com injúrias visíveis. A análise é de caráter visual adaptado da metodologia descrita por Lorenzini *et al.* (1999).
- Para cada indivíduo são registrados altura, número de folhas sem injúrias e número de folhas mortas. Para a avaliação das injúrias em cada folha, 3 técnicos estimam visualmente a percentagem de área foliar com injúria característica de ozônio, sendo registrado um valor médio entre as três estimativas.
- A fim de evitar interferências subjetivas por parte do avaliador na estimativa das percentagens da área foliar com injúrias, foi desenvolvida uma metodologia de comparação, com fotos de folhas padrões, apresentando diferentes percentagens de áreas foliares com injúrias, que foram calculadas pelo Sistema de Informação Geográfica – IDRISI. A **figura 5** apresenta duas fotos de folhas padrões utilizadas para a estimativa da percentagem da área foliar com injúrias.



**Figura 5 – Folhas com porcentagens da área foliar com injúrias (em amarelo), calculadas pelo software IDRISI - 21% (esquerda) e 30% (direita).**

### 2.2.2. Interpretação Estatística

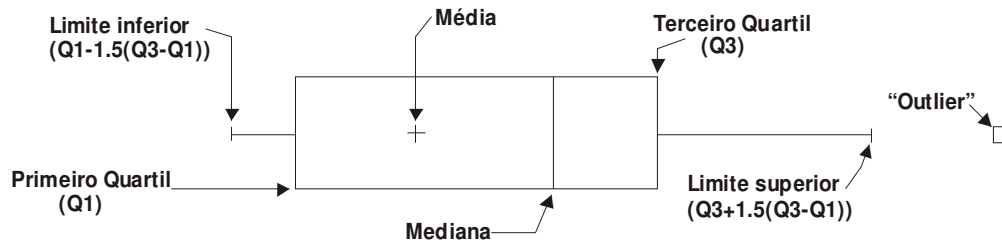
Para a análise estatística das medidas das injúrias foliares, foram consideradas as folhas presentes em mais de 60% das plantas. Algumas folhas mortas foram consideradas passíveis de análise, pois as injúrias eram visíveis e mensuráveis. Para a análise dos dados utilizou-se o programa STATGRAPHICS Centurion XV.II.

As etapas desenvolvidas para a interpretação estatística foram as seguintes:

- Após a tabulação dos dados, foram elaborados três tipos de gráficos (medianas e médias com 95% de intervalo de confiança e *box-plot*), que apresentam a estatística descritiva. O gráfico *box-plot* auxilia a interpretação do conjunto de dados, sendo uma alternativa ao histograma, facilitando a visualização da dispersão e destacando valores considerados *outliers*, além de mostrar claramente as médias, medianas e quartis (**Figura 6**).



- A partir da interpretação dos resultados estatísticos, adotou-se como critério de comparação o valor das medianas da percentagem de área foliar com injúrias, entre os pontos de exposição, por campanha.



**Figura 6: Representação esquemática das variáveis presentes no *box-plot*.**

- Para correlacionar a percentagem de área foliar apresentando injúrias com a ocorrência de ozônio, conforme descrito em CETESB (2006, 2007b e 2008)), considerou-se que, para as:
  - Medianas inferiores a 5,0% - baixa presença de ozônio (verde)
  - Medianas entre 5,0% e 14,9% - presença de ozônio (amarelo)
  - Medianas igual ou maior de 15,0% - presença de ozônio com possibilidade de ultrapassar o padrão para saúde humana (vermelho).

Com base nesta classificação, elaborou-se um mapa com a distribuição espacial dos pontos e a cor correspondente (verde, amarelo e vermelho).

### 2.2.3. Cálculo do Índice de Injúrias foliares – LII

Para o cálculo do índice de injúrias foliares - LII utilizou-se a mesma metodologia usada por Pina e Moraes (2007) e adaptada em CETESB (2007b e 2008), descrita na equação abaixo:

$$\text{LII (\%)} = \frac{(N_1 \times 1) + (N_2 \times 2) + (N_3 \times 3) + (N_4 \times 4) + (N_5 \times 5)}{(N_0 + N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5) \times 5} \times 100$$

onde:

$N_0$  = número de folhas com nenhum sintoma de injúrias provocado por ozônio

$N_1$  = número de folhas com 1 a 5% de injúrias provocadas por ozônio

$N_2$  = número de folhas com 6 a 25% de injúrias provocadas por ozônio

$N_3$  = número de folhas com 26 a 50% de injúrias provocadas por ozônio

$N_4$  = número de folhas com 51 a 75% de injúrias provocadas por ozônio

$N_5$  = número de folhas com mais de 75% de injúrias provocadas por ozônio

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para elaboração da matriz de dados, consideraram-se os resultados da percentagem de injúrias para as folhas de número dois a oito na primeira campanha, de quatro a dez na segunda campanha, de quatro a oito na terceira campanha, de três a seis na quarta campanha e de três a nove na quinta campanha, pois estas estavam presentes em mais de 60% das plantas analisadas.

Para o cálculo do índice de injúrias foliares – LII utilizou-se a percentagem de injúrias de todas as folhas.

#### 3.1. Síntese dos resultados obtidos

As **tabelas 3 e 4** apresentam, por ponto de monitoramento e por campanha, a síntese dos resultados obtidos em 2008 e 2009 para dimensionar qualitativamente a ocorrência de ozônio troposférico na área territorial do Município de Rio Grande da Serra.



**Tabela 3: Síntese dos resultados do biomonitoramento, utilizando a variedade de tabaco *Nicotiniana tabacum* Bel W3, para dimensionar qualitativamente a ocorrência do ozônio troposférico na área territorial do Município de Rio Grande da Serra das três campanhas realizadas em 2008.**

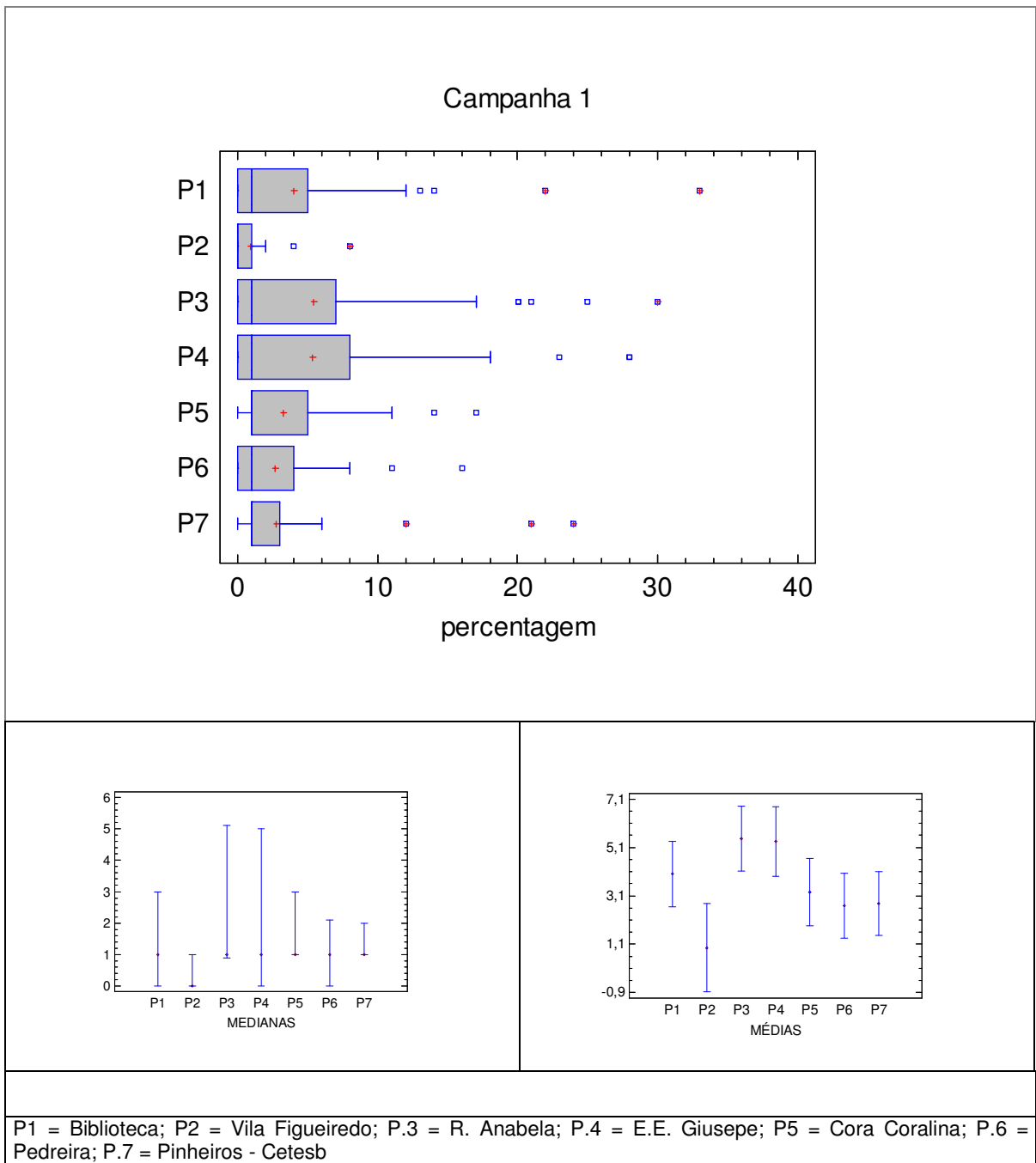
Campanha	Ponto	Altura média	Folhas mortas	Folhas vivas	média	mediana	Q75%	LII	número de folhas com as percentagens de injúrias					
									0	1 a 5	6 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
<b>1º Camp.</b> <b>29.09 a 27.10.08</b>	P1 = Biblioteca	15,0	12	40	4,0	1,0	4,8	15,1	20	17	7	1	0	0
	P2 = Vila Figueiredo	8,6	6	21	1,0	0,0	1,0	8,6	13	7	1	0	0	0
	P3 = R. Anabela	18,7	8	42	5,5	1,0	7,0	20,0	16	15	12	2	0	0
	P4 = E.E. Giusepe	14,8	4	35	5,4	1,0	7,3	20,6	13	12	8	3	0	0
	P5 = E.E. Cora Coralina	13,7	13	36	3,3	1,0	4,5	20,0	10	20	10	0	0	0
	P6 = Pedreira	16,2	11	43	2,7	1,0	4,0	14,8	20	18	8	0	0	0
	P7 = Pinheiros – S Paulo	29,0	7	54	2,8	1,0	3,0	16,6	18	32	8	0	0	0
<b>2º Camp.</b> <b>23.10 a 24.11.08</b>	P1 = Biblioteca	14,6	16	24	3,4	1,0	3,0	14,6	12	10	3	1	0	0
	P2 = Vila Figueiredo	20,3	24	35	3,6	1,0	3,0	17,0	14	20	4	2	0	0
	P3 = R. Anabela	24,2	29	39	9,4	3,0	20,0	21,7	20	19	8	3	0	0
	P4 = E.E. Giusepe	22,5	23	32	7,9	2,5	10,0	25,0	10	12	9	5	0	0
	P5 = E.E. Cora Coralina	30,0	25	44	5,5	2,0	5,8	17,6	14	18	12	3	0	0
	P6 = Pedreira	17,0	27	29	4,5	1,0	5,3	18,4	17	10	8	3	0	0
	P7 = Pinheiros – S Paulo	34,7	17	56	1,9	1,0	1,0	13,3	21	34	2		0	0
<b>3º Camp.</b> <b>1.12 a 29.12.08</b>	P1 = Biblioteca	12,5	21	32	3,9	2,0	6,5	15,8	14	12	7	0	0	0
	P2 = Vila Figueiredo	16,2	2	30	2,5	1,0	1,8	17,9	5	21	2	0	0	0
	P3 = R. Anabela	11,5	13	31	5,1	2,0	7,3	26,9	10	6	16	3	0	0
	P4 = E.E. Giusepe	21,5	24	30	12,4	7,0	19,0	27,7	12	7	13	7	0	0
	P5 = E.E. Cora Coralina	17,0	20	31	8,4	5,0	15,3	24,1	10	9	13	2	0	0
	P6 = Pedreira	13,5	27	28	7,7	4,0	9,5	24,7	6	12	11	1	0	0
	P7 = Pinheiros – S Paulo	24,8	12	33	1,1	1,0	1,0	14,9	12	20	3	0	0	0

**Tabela 4: Síntese dos resultados do biomonitoramento, utilizando a variedade de tabaco *Nicotiniana tabacum* Bel W3, para dimensionar qualitativamente a ocorrência do ozônio troposférico na área territorial do Município de Rio Grande da Serra das duas campanhas realizadas em 2009.**

Campanha	Ponto	Altura média	Folhas mortas	Folhas vivas	média	mediana	Q75%	LII	número de folhas com as percentagens de injúrias					
									0	1 a 5	6 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
<b>4º Camp.</b> <b>09.02 a 09.03.09</b>	P1 = Biblioteca	5,8	10	16	3,9	0,0	1,0	9,5	13	4	1	1	0	0
	P2 = Vila Figueiredo	5,9	13	26	9,9	4,0	10,8	22,3	9	9	5	2	1	0
	P3 = R. Anabela	7,4	16	17	3,4	0,5	3,8	15,6	9	5	3	1	0	0
	P4 = E.E. Giusepe	9,3	22	23	23,9	12,0	37	33,3	8	5	3	5	1	2
	P5 = E.E. Cora Coralina	7,3	18	22	3,5	1,0	2,5	12,5	13	8	2	1	0	0
	P6 = Pedreira	5,7	7	24	2,2	0,0	1,0	15,0	12	8	2	2	0	0
	P7 = Pinheiros – S Paulo	10,3	5	22	0,1	0,0	0,0	3,6	18	4	0	0	0	0
	P8 = Pq Ibirapuera – S Paulo	8,4	6	22	0,3	0,0	0,0	8,2	13	9	0	0	0	0
<b>5º Camp.</b> <b>02.04 a 29.04.09</b>	P1 = Biblioteca	19,3	15	42	4,7	2,0	5,0	19,1	12	22	8	1	0	0
	P2 = Vila Figueiredo	18,7	16	35	4,8	3,0	7,3	21,1	9	15	11	0	0	0
	P3 = R. Anabela	19,8	12	32	5,0	2,0	9,5	21,3	11	8	13	0	0	0
	P4 = E.E. Giusepe	18,5	10	38	9,8	4,0	18,0	27,4	11	9	11	7	0	0
	P5 = E.E. Cora Coralina	17,8	9	41	2,9	1,0	3,0	17,8	17	17	10	1	0	0
	P6 = Pedreira	21,0	12	38	5,6	2,0	8,0	20,5	15	10	14	1	0	0
	P7 = Pinheiros – S Paulo	25,3	14	37	2,1	1,0	3,0	13,7	16	22	3	0	0	0
	P8 = Pq Ibirapuera – S Paulo	28,0	16	43	4,8	2,0	5,0	20,0	14	21	12	1	0	0

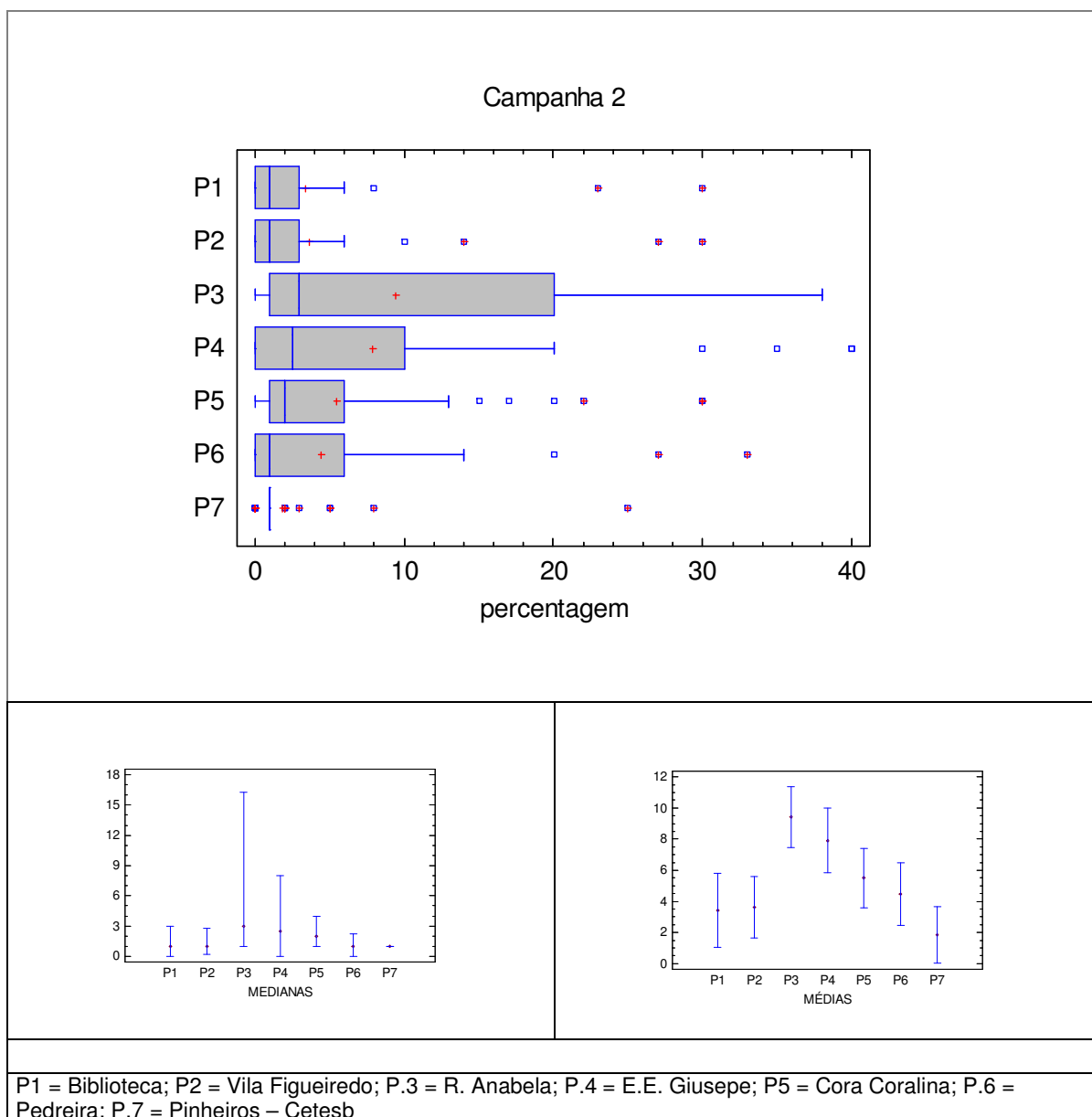
### 3.2. Análise Estatística dos Dados

A **figura 7** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo *box-plot* para a **primeira campanha** que se realizou no início da primavera de 2008, de 29 de setembro a 20 de outubro de 2008. Ocorreram injúrias características do efeito fitotóxico do ozônio em todos os pontos estudados, entretanto com medianas iguais a 0% no P2 “Vila Figueiredo” e 1% nos demais pontos de estudo. Com relação às médias, as maiores foram no P.3 e P.4, respectivamente, 5,5% e 5,4%.



**Figura 7: Gráfico tipo *box-plot* e gráficos das medianas e médias com intervalos de confiança de 95%, das percentagens de área foliar com injúrias, por local monitorado para a primeira campanha.**

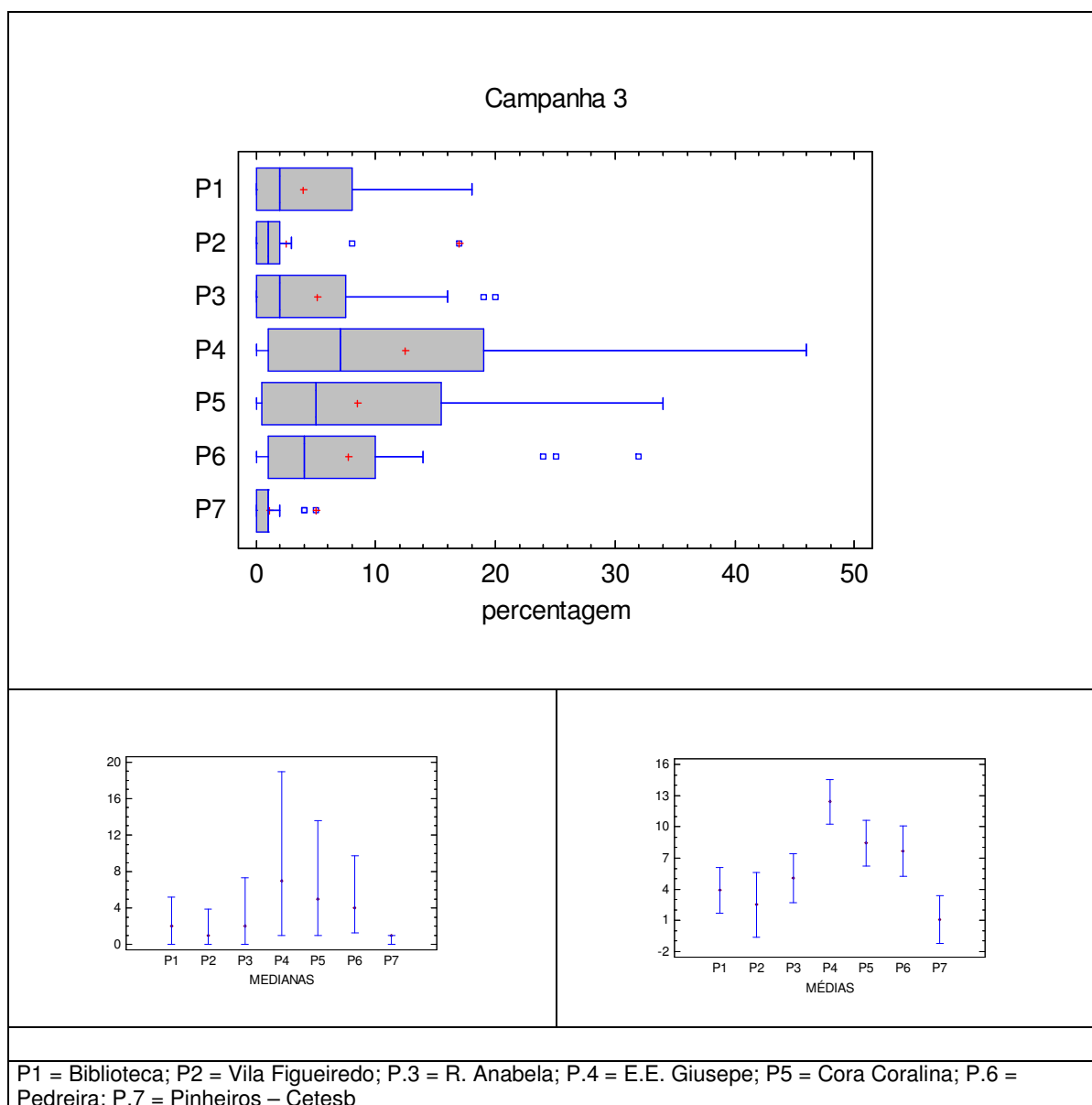
A **figura 8** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo box-plot para a **segunda campanha** que se realizou na primavera de 2008, de 23 de outubro a 24 de novembro de 2008. Ocorreram injúrias características do efeito fitotóxico do ozônio em todos os pontos estudados, sendo que a maior mediana encontrada foi igual a 3% no P3 “R. Anabela”, seguidas de 2,5% no P4 “E.E. Giusepe” e 2,0% no P5 “E.E. Cora Coralina”. Os outros pontos de estudo apresentaram medianas igual a 1%. Os pontos de estudo que apresentaram as maiores médias são coincidentes com aqueles que apresentaram as maiores medianas.



**Figura 8: Gráfico tipo *box-plot* e gráficos das medianas e médias com intervalos de confiança de 95%, das percentagens de área foliar com injúrias, por local monitorado para a segunda campanha.**

A **figura 9** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo “box-plot” para a **terceira campanha** que se realizou no final da primavera, de 1 de dezembro a 29 de dezembro de 2008.

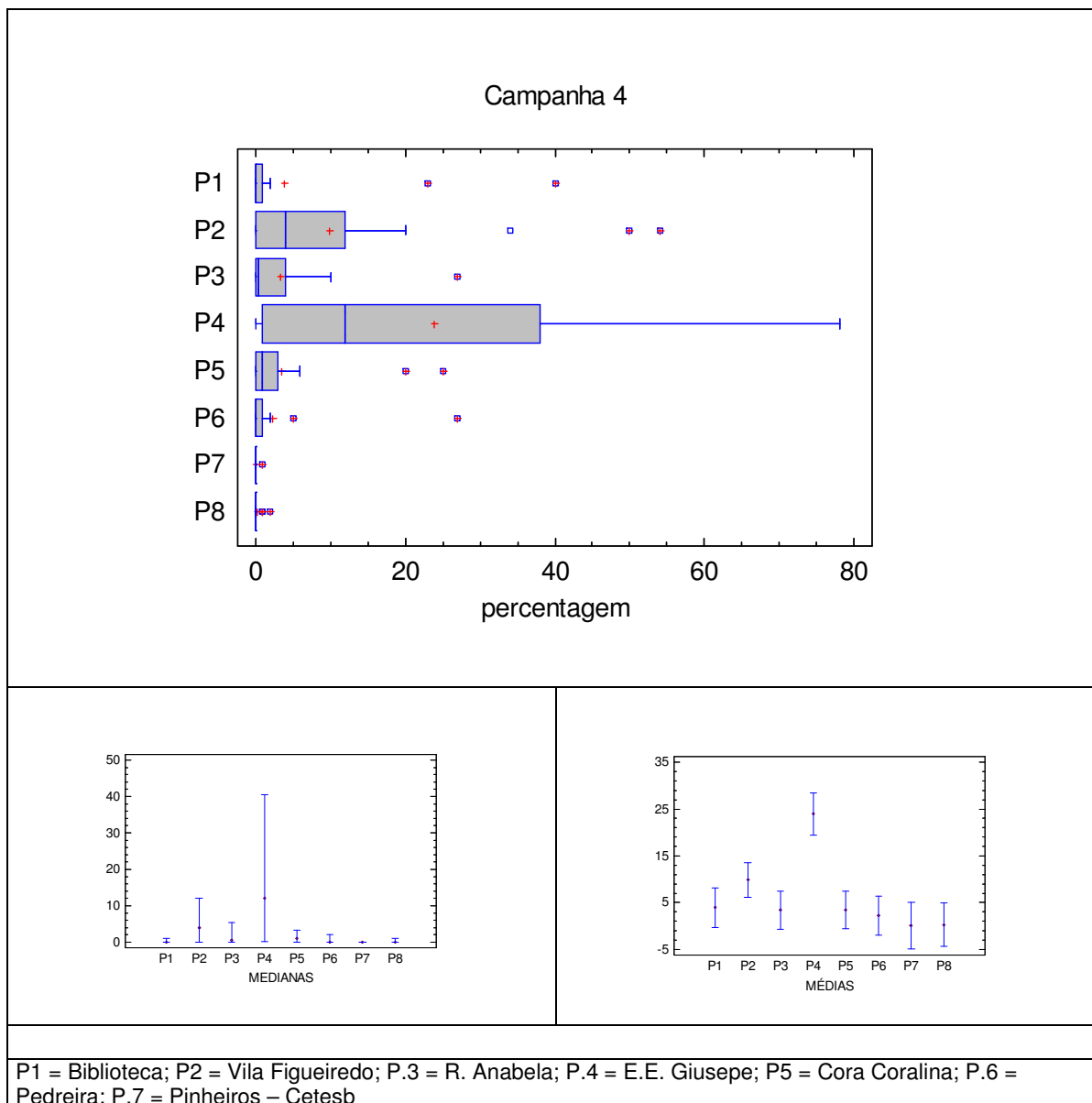
Ocorreram injúrias características do efeito fitotóxico do ozônio em todos os pontos estudados, sendo que a maior mediana encontrada foi igual a 7,0% no P4 “E.E. Giusepe, seguida de 5,0% no P.5 “E.E.Cora Coralina”. Estes dois pontos apresentaram também as maiores médias.



**Figura 9: Gráfico tipo *box-plot* e gráficos das medianas e médias com intervalos de confiança de 95%, das percentagens de área foliar com injúrias, por local monitorado para a terceira campanha.**

A **figura 10** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo box-plot para a **quarta campanha** que se realizou no verão, de 9 de fevereiro a 9 de março de 2009.

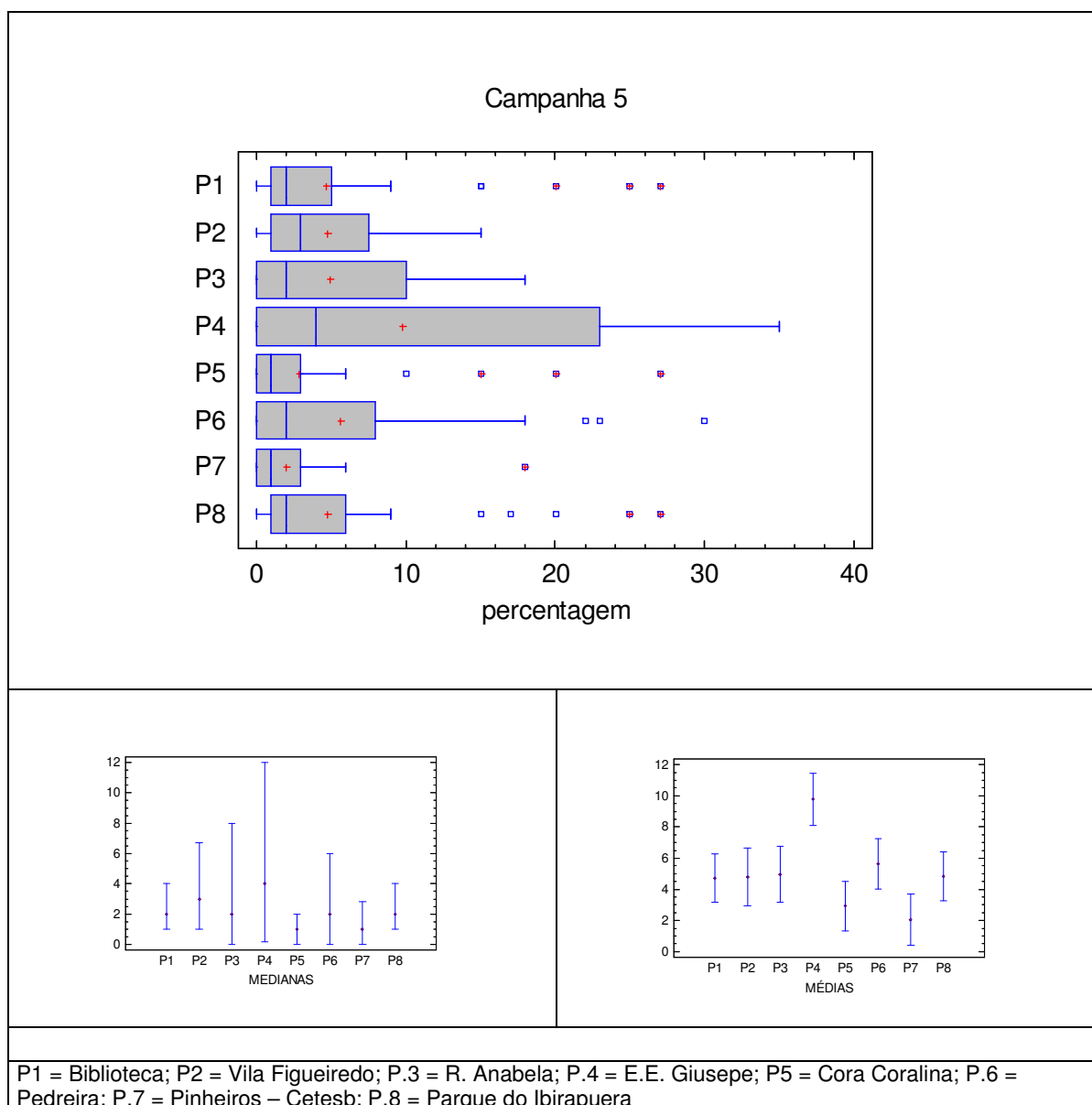
Ocorreram injúrias características do efeito fitotóxico do ozônio em todos os pontos estudados, sendo que a maior mediana encontrada foi igual a 12,0% no P4 “E.E. Giusepe”, seguida de 4,0% no P.2 “Vila Figueiredo”. Estes dois pontos apresentaram também as maiores médias.



**Figura 10: Gráfico tipo *box-plot* e gráficos das medianas e médias com intervalos de confiança de 95%, das percentagens de área foliar com injúrias, por local monitorado para a quarta campanha.**

A **figura 11** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo *box-plot* para a **quinta campanha** que se realizou no verão, de 9 de fevereiro a 9 de março de 2009.

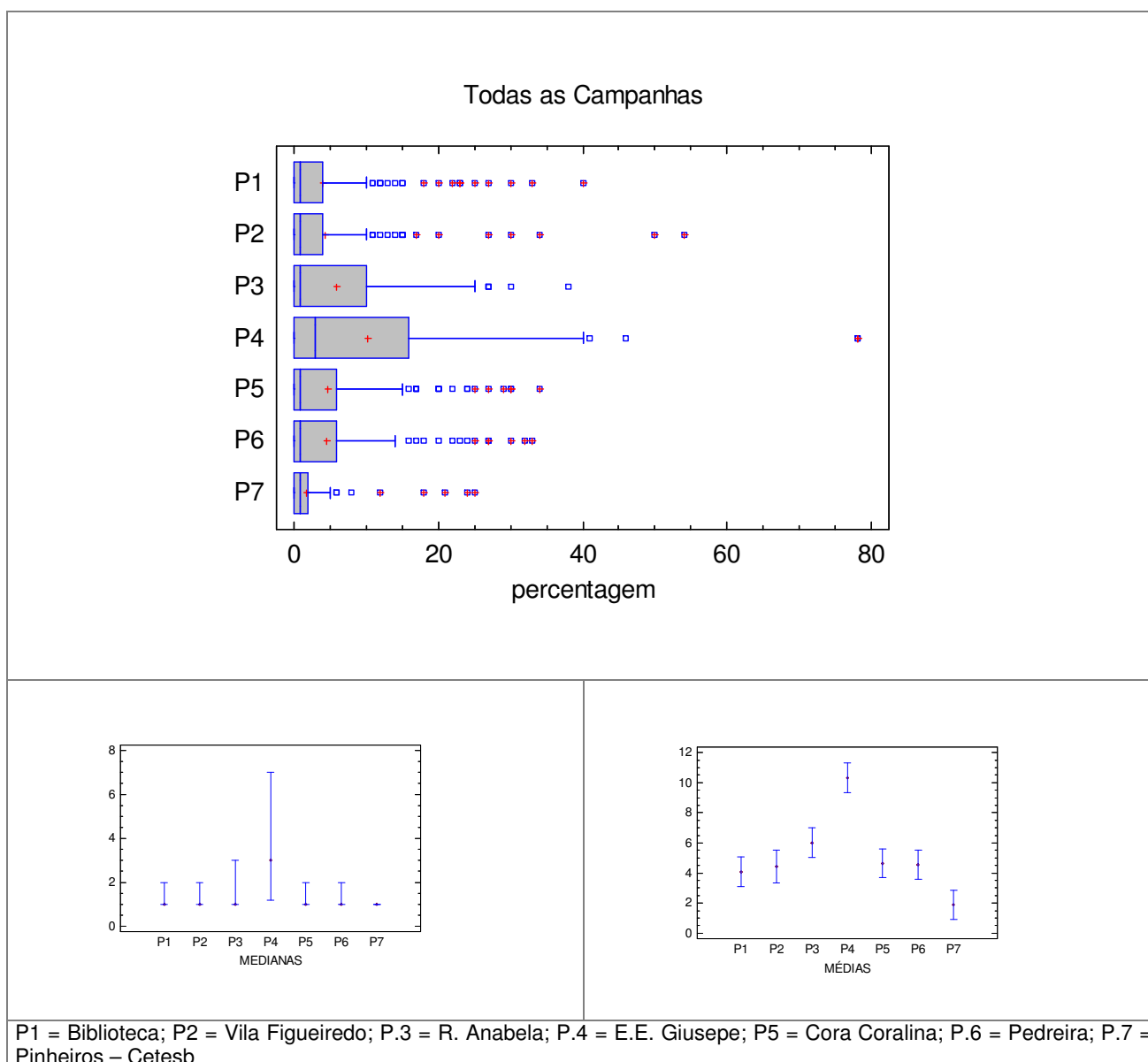
Ocorreram injúrias características do efeito fitotóxico do ozônio em todos os pontos estudados, sendo que a maior mediana encontrada foi igual a 4,0% no P4 “E.E. Giusepe. Este ponto apresentou também a maior média.



**Figura 11: Gráfico tipo *box-plot* e gráficos das medianas e médias com intervalos de confiança de 95%, das percentagens de área foliar com injúrias, por local monitorado para a quinta campanha.**

A **figura 12** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo *box-plot* por ponto para todas as campanhas que se realizaram em Rio Grande da Serra.

Ocorreram injúrias características do efeito fitotóxico do ozônio em todos os pontos estudados, entretanto a maior mediana foi igual a 3,0% no P4 “E.E. Giusepe” e em todos os outros pontos foi igual a 1,0%, entretanto a maior média também foi no P4 “E.E.Giusepe”, seguido do P3 “R. Anabela”.

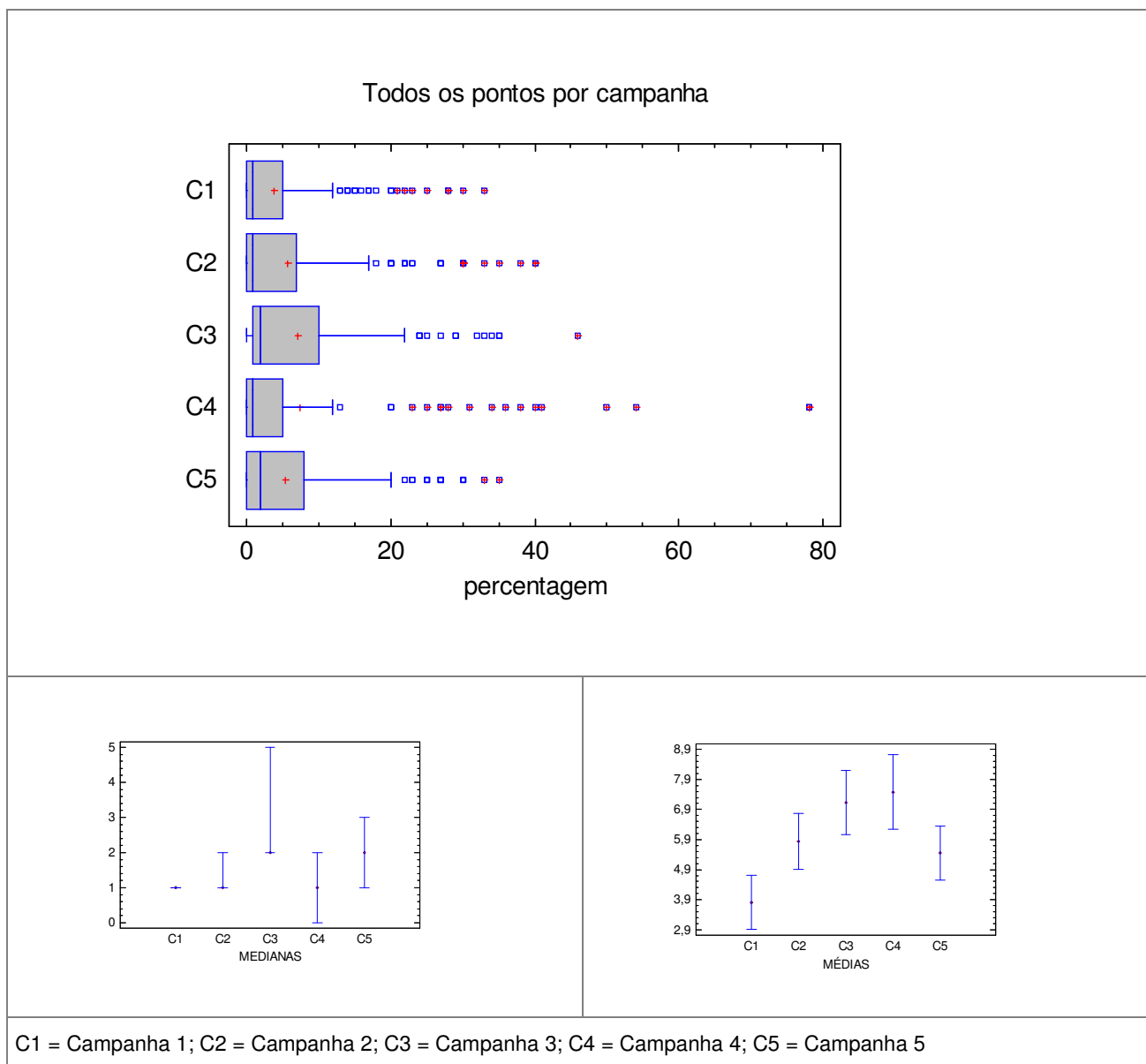


**Figura 12: Gráfico tipo “box-plot” e gráficos das medianas e médias com intervalos de confiança de 95%, das percentagens de área foliar com injúrias, por local monitorado para todas as campanhas.**



A **figura 13** mostra os resultados de **todos os pontos de amostragem por campanha**. As campanhas 3 (final da primavera) e 5 (início do outono) apresentaram medianas igual a 2,0%, sendo que as outras campanhas apresentaram medianas igual a 1,0%.

A maior média também foi encontrada na campanha 3. O gráfico abaixo mostra que a campanha 4 (verão de 2009) apresentou os maiores valores de percentagens de injúrias foliares visíveis e, conseqüentemente, a maior média.



**Figura 13: Gráfico tipo *box-plot* e gráficos das medianas e médias com intervalos de confiança de 95%, das percentagens de área foliar com injúrias por campanha.**

### 3.3. Resultados obtidos para os Pontos de Referência

A **tabela 5** apresenta os resultados das medições das concentrações de ozônio troposférico realizadas na estação telemétrica de Pinheiros durante as 5 campanhas de biomonitoramento e do Ibirapuera nas duas últimas campanhas.

**Tabela 5 – Concentrações acumuladas de ozônio troposférico (AOT40) e ultrapassagens do padrão na estação Telemétrica de Pinheiros e do Ibirapuera.**

Estação	Campanha	Período de Exposição	AOT40 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3.\text{h}$ )
Pinheiros	1	29.09 a 27.10.2008	335
	2	23.10 a 24.11.2008	727
	3	1.12 a 29.12.2008	1539
	4	09.02 a 09.03.2009	1919
	5	02.04 a 29.04.2009	859
Ibirapuera	4	09.02 a 09.03.2009	3830
	5	02.04 a 29.04.2009	1069

A maior AOT40 ocorreu na quarta campanha, entre 9 de fevereiro a 9 de março de 2009 (verão de 2009) tanto em Pinheiros como no Ibirapuera. Neste período ocorreu também o maior valor de mediana da percentagem de injúrias foliares no município de Rio Grande da Serra, 12% no P4 “E.E. Giusepe”.

A segunda maior AOT40 ocorreu na terceira campanha, entre 1 e 29 de dezembro de 2008 (final da primavera de 2008) em Pinheiros. Em Rio Grande da Serra, entre os pontos amostrados existiram dois onde as medianas foram iguais ou superiores a 5%. O P4 “E.E.Giusepe” apresentou mediana igual a 7,0%, seguido de 5,0% no P5 “E.E. Cora Coralina”.

Nas campanhas 1 (início da primavera de 2008), 2 (primavera de 2008) e 5 (início do outono de 2009) não ocorreram medianas iguais ou superiores a 5%.

### 3.4. Visualização espacial dos resultados

Para correlacionar as percentagens de injúrias com a ocorrência de ozônio, e mapear a presença desse poluente estão plotadas na **figura 14**, os resultados obtidos nas diversas campanhas, expressos em classes, sendo a cor verde para baixa presença de ozônio (medianas de percentagem de injúrias foliares inferiores a 5,0%), amarelo para presença de ozônio (medianas entre 5,0% a 14,9%) e vermelho para presença de ozônio com possibilidade de ultrapassar o padrão para saúde humana (medianas acima de 15,0%).



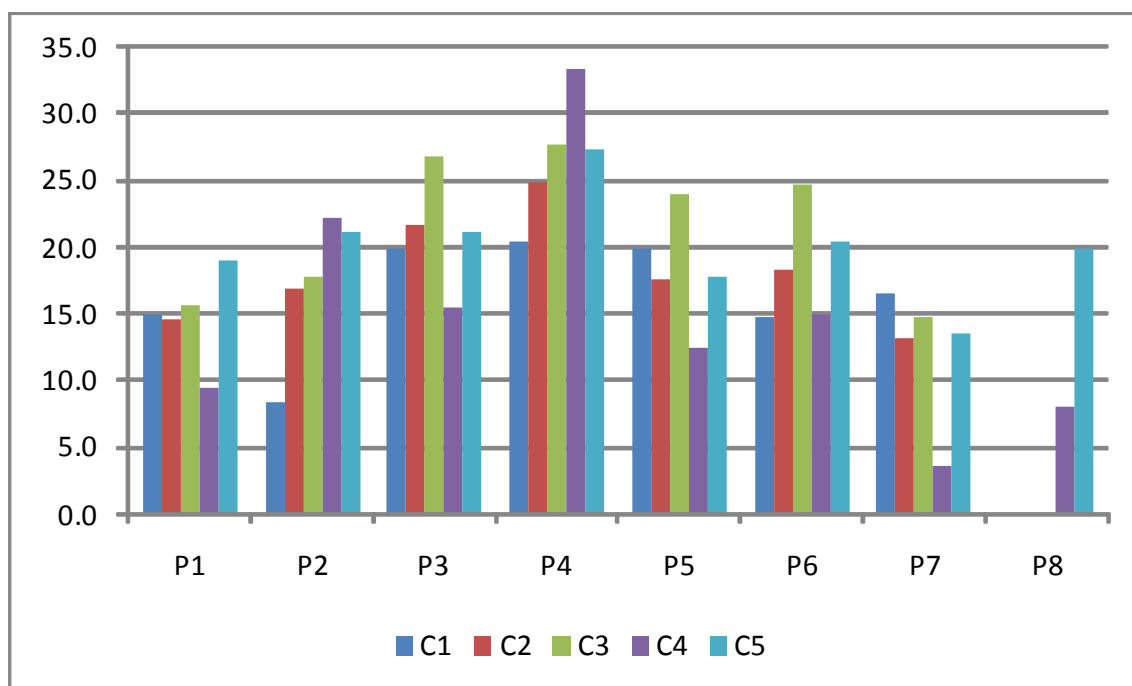
P1 = Biblioteca; P2 = Vila Figueiredo; P.3 = R. Anabela; P.4 = E.E. Giuseppe; P5 = Cora Coralina; P.6 = Pedreira

**FIGURA 14 - Mapeamento das ocorrências de ozônio troposférico na cidade de Rio Grande da Serra considerando as 5 campanhas de exposição de *Nicotiana tabacum* Bel W3.**

Observa-se que entre as 30 medidas (6 pontos de amostragem e 5 campanhas) obtidas em Rio Grande da Serra, apenas três apresentaram medianas entre 5 e 15%, duas ocorrências no P4 “E.E.Giusepe” e uma no P5 “E.E.Cora Coralina” na terceira e quarta campanha. Os pontos que apresentaram medianas superiores a 5% localizam-se no eixo norte/sul.

### 3.5. Índice de Injúrias foliares – LII

A **figura 15** mostra o índice de injúrias foliares – LII calculado para as cinco campanhas em todos os pontos de estudo do Município de Rio Grande da Serra e na CETESB-Pinheiros, além das duas últimas campanhas no Parque do Ibirapuera.



P1 = Biblioteca; P2 = Vila Figueiredo; P.3 = R. Anabela; P.4 = E.E. Giusepe; P5 = Cora Coralina; P.6 = Pedreira; P.7 = Pinheiros – Cetesb; P.8 = Parque do Ibirapuera

**Figura 15: Histograma mostrando o LII por ponto para todas as campanhas realizadas no município de Rio Grande da Serra, na CETESB-Pinheiros e no Parque do Ibirapuera.**

Os maiores valores de LII foram 33,3; 27,7 e 27,4 , respectivamente, na quarta, terceira e quinta campanha, todos no P4 “E.E.Padre Giusepe” (Norte), seguido de 26,9 no P3 “R.Anabela” (Leste) na terceira campanha. Das 30 medidas de LII obtidas para Rio Grande da Serra, uma ultrapassou o valor de 30, quatro estão entre 25,0 e 29,9 e dez entre 20,0 e 24,9. As maiores medidas de LII obtidas na CETESB e no Parque do Ibirapuera foram, respectivamente, iguais a 16,6 e 20,0.

### 3.6. Comparação entre os resultados obtidos com o biomonitoramento nos municípios de Biritiba-Mirim, Cabreúva e Rio Grande da Serra

Em Biritiba-Mirim foram realizadas cinco campanhas de biomonitoramento (uma no outono, uma no inverno e três no verão), totalizando 56 medições. Destas medições, quatro resultados de medianas da porcentagem de injúrias foliares estiveram acima de 5%, o que corresponde a 7,1% do total (CETESB, 2008).

Em Cabreúva foram realizadas quatro campanhas de biomonitoramento, uma em cada estação do ano, totalizando 45 medições (CETESB, 2006). Destas medições, cinco resultados de medianas da porcentagem de injúrias foliares estiveram acima de 5%, o que corresponde a 11,1% do total. Estas informações foram calculadas a partir dos dados brutos utilizados na elaboração do relatório de 2006.

Em Rio Grande da Serra foram realizadas cinco campanhas de monitoramento, três na primavera, uma no verão e uma no outono, totalizando 30 medições. Destas medições, três resultados de medianas da porcentagem de injúrias foliares estiveram acima de 5%,

o que corresponde a 10,0% do total.

A tabela 6 apresenta o número e a porcentagem de ocorrências de medianas acima de 5%. Observa-se que em Cabreúva ocorreram valores de medianas acima de 5% em todas as estações do ano, diferentemente de Biritiba e Rio Grande da Serra. Na primavera, o município de Rio Grande da Serra apresentou maior porcentagem de ocorrências de medianas acima de 5% do que Cabreúva.

**Tabela 6 – Número total de medições e de medianas de injúrias foliares acima de 5% por estação do ano e município.**

Município	OUTONO		INVERNO		VERÃO		PRIMAVERA		TOTAL	
	Total	>=5%	Total	>=5%	Total	>=5%	Total	>=5%	Total	>=5%
<b>Biritiba Mirim</b>	12	0 (0%)	12	0 (0%)	32	4 (12,5%)	-	-	56	4 (7,1%)
<b>Cabreúva</b>	11	1 (9,1%)	12	1 (8,3%)	11	2 (18,2%)	11	1 (9,1%)	45	5 (11,1%)
<b>Rio Grande da Serra</b>	6	0 (0%)	-	-	6	1 (16,7)	18	2 (11,1%)	30	3 (10,0)

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com o biomonitoramento, realizado no Município de Rio Grande da Serra com *Nicotiana tabacum* Bel W3, mostraram injúrias foliares características do efeito fitotóxico do ozônio troposférico.

Considerando a metodologia que vem sendo adotada pela CETESB, este estudo indica que a presença de ozônio troposférico no município de Rio Grande da Serra é superior ao de Biritiba-Mirim e próxima ao município de Cabreúva.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEGRI, I.; CORTIELLO, M.; MANES, F.; TRIPODO, P. 1994. Physico-chemical and biological monitoring as integrated tools in evaluating tropospheric ozone in urban and semi-rural areas. **The Science of Total Environment** . v.141, p.75-85.
- ALVES, E.S.; PEDROSO, A.N.V.; DOMINGOS, M.; GUIMARÃES, E.T. & SALDIVA, P.H.N. 2003. Biomonitoramento de potencial mutagênico do ar em laboratórios e herbário do Instituto de Botânica por meio do bioensaio Trad-MCN. **Hoehnea**. p. 88-94.
- ALVES, V. 2001. **Análise dos efeitos dos poluentes de fábrica de cimento em plantas bioindicadoras: *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) e *Zinnia elegans* Cav. (Asteraceae)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- ARNDT, U. 1989. From ecotoxicological results to practical bioindication. In: Brasser, L.J. & Mulder, W.L. (eds) **Man and his ecosystem**. The Hague, Elsevier Science Publishers, p.1-32.
- ASHMORE, M.R.; BELL, J.N.B. & REILY, C.L. 1980. The distribution of phytotoxic ozone in the British Isles. **Environmental Pollution** (Series B) v.1, p.195-216.
- AZEVEDO, C.M. do A.; POMPÉIA, S.L.; FIALHO, R.C.; MENDONÇA, R.R. 1990. Efeito agudo de amônia sobre folhas de 09 espécies da Mata Atlântica. In : CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 41, .Fortaleza- CE, **Anais...**, 1990.
- AZEVEDO, C.M.A.; FIALHO, R.C.; POMPÉIA, S.L. 1994a. Teor foliar de macronutrientes e fluoretos em espécies da Mata Atlântica afetadas pela poluição atmosférica de Cubatão, SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO,10. Santos – SP. **Anais...**, 1994.
- AZEVEDO, C.M.A.; POMPÉIA, S.L.; FIALHO, R.C.; DINIZ, K.M.; PELAES, K.B. 1994b. Resistência de plantas ao estresse por poluição atmosférica. In: FIRST WORKSHOP OF STUDIES ON HUMAN IMPACT ON FOREST AND FOODPLAINS IN THE TROPICS - SHIFT. Belém – PA. **Anais...**, 1994.
- BATALHA, J.R.F.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; DEURS, T.; CARVALHO, H.A.; ALVES, E.S.; DOMINGOS, M.; RODRIGUES, G.S. & SALDIVA, P.H.N. 1999. Exploring the clastogenic effects of air pollutants in São Paulo (Brazil) using the *Tradescantia* micronuclei assay. **Mutation Research**. v.426, p.229-32.
- BLUM, O.; BYTNEROWICZ, A.; MANNING, W. and POPOVICHEVA, L. 1997. Ambient tropospheric ozone in the Ukrainian Carpathian Mountains and Kiev region: detection with passive samplers and bioindicator plants. **Environmental Pollution**, v. 98, n.3, p. 299-304.
- BUJOKAS, W.M. 2001. **O impacto da poeira de cimento em *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CEPAGRI, 2009. Clima dos Municípios Paulistas. Disponível em: [http://www.cpa.unicamp.br/outras-informações/clima\\_muni\\_496.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informações/clima_muni_496.html). (acesso em: 08.06.2009)
- CETESB. 1996. **Análise química foliar do teor de fluoreto, macro e micro nutrientes em espécies vegetais da Serra do Mar, envasadas em áreas experimentais, Cubatão-SP, Biomonitoramento Ativo**. São Paulo. (Relatório Técnico)
- CETESB. 2004. **Estudos investigativos da ocorrência de ozônio troposférico na Região de Sorocaba – SP**. São Paulo, 87 p. (Relatório Técnico)
- CETESB. 2006 **Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Cabreúva – SP**. São Paulo, 24p. (Série Relatórios).
- CETESB, 2007a. **Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo. 2007**. São Paulo, 294p. (Série Relatórios)



- CETESB. 2007b **Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Brotas – SP.** São Paulo, 26p. (Série Relatórios).
- CETESB. 2008 **Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Biritiba-Mirim – SP.** São Paulo, 30p. (Série Relatórios).
- CHAVES, A.C.F.; SILVA, E.A.M.; AZEVEDO, A.A.; CANO, M.A.O. & MATSUOKA, M.K. 2002. Ação do flúor dissolvido em chuva simulada sobre a estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq. (Colonião) e *Chloris gayana* Kunth. (Capim – Rhodes) – Poacea. **Acta Botanica Brasilica**. v.16, p.395-406.
- DINIZ, K.M.; MARQUEZ, U.M.L.; BARROS, R.M.C.; POMPÉIA, S.L. 1994. Composição de aminoácidos livres em plantas da Mata Atlântica sob estresse provocado por poluentes atmosféricos em Cubatão - SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 10. Santos – SP. **Anais...**, 1994.
- DOMINGOS, M.; KLUMPP, A, & KLUMPP, G. 1998. Air pollution impact on the Atlantic forest in the Cubatão, region, SP, Brazil. **Ciência & Cultura**. V.50. p. 230-36.
- DOMINGOS, M.; BOURETTE, C.; KLUMPP, G.& FORTI, M.C. 2002. **Impactos de poluição atmosférica sobre remanescentes florestais.** In: Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. D.C. Bicudo, M.C. Forti & C.E.M. Bicudo (orgs.). Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo. p.221-49.
- EPA, 2006. Disponível em: <http://www.epa.gov/oar/oaqps/gooduphigh/ ozone.html> .(acesso em 03/03/2006)
- FERREIRA, M.I.; PETRENKO, H.; LOBO, D.J.A.; RODRIGUES, G.S.; MOREIRA, A. & SALDIVA, P.H.N. 2000. *In situ* monitoring of the mutagenic effects of the gaseous emissions of a solid waste incinerator in metropolitan São Paulo, Brazil, using the *Tradescantia* Stamen-Hair assay. **Journal of the Air & Waste Management Association**. v.50, p.1852-56.
- FIALHO, R.C.; AZEVEDO, C.M.A.; PELAES, K.B.; POMPÉIA, S.L. 1994. Aspectos anatômicos e fisiológicos e a acumulação foliar de poluentes atmosféricos em espécies da Mata Atlântica de Cubatão, SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 10. Santos - SP, **Anais...**,1994.
- FIGUEIREDO, J. G. 1994. **Avaliação de gramíneas tropicais como bioindicadoras da presença do flúor.** Viçosa, MG. 1994. 87p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- FOWLER, D.; SMITH, R.I.; COYLE, M.; WESTON, K.J.; DAVIES, T.D.; ASHMORE, M.R. and BROWN, M. 1995. Quantifying the fine scale (1kmX1km) exposure and effects of ozone. Part 1. Methodology and application for effects on forests. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 85, p.1479-1484.
- FREEDMAN, B. 1995. **Environmental ecology.** The ecological effects of pollution, disturbance and other stresses. 2<sup>nd</sup>. Academic Press Inc. San Diego.
- FUHRER, J. & ACHERMANN, B. 1994. **Critical levels for ozone: a UN-ECE workshop report.** Liebefeld-Bern, Swiss Federal Research Station for Agricultural Chemistry and Environment Hygiene, 1994 (FAC Report, n<sup>o</sup> 16).
- FUHRER, J. 1994. Effects of ozone on managed pasture: I. Effects of open-top chambers on microclimate, ozone flux, and plant growth. **Environmental Pollution**, v.86, p.297-305.
- FUHRER, J.; SKÄRBY, L.; ASHMORE, M.R. 1997. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. **Environmental Pollution**, v.97, n.1, p.91-106.

- GARREC, J.P. & RADNAI, F. 1996. **Economical study and mapping of air pollution by plant bio-indicators**. France, Institute National de la Recherche Agronomique – INRA, Centre de Recherches de Nancy – Laboratoire Pollution Atmosphérique. 13p. (Internal Report)
- GARREC, J.P.; SHANG HE; ROSE, C. & RADNAI, F. 1998. **Mapping of particulate air-pollution on beijing by plant bio-monitors**. France, Institute National de la Recherche Agronomique – INRA, Centre de Recherches de Nancy – Laboratoire Pollution Atmosphérique. 7p. (Internal Report)
- GIMENO, B.S.; PEÑUELAS, J.; PORCUNA, J.L. and REINERT, R.A. 1995. Biomonitoring ozone phytotoxicity in eastern Spain. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 85, p.1521-1526.
- GUIMARÃES, E.T.; DOMINGOS, M.; ALVES, E.S.; CALDINI, N.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.C. & SALDIVA, P.H.N. 2000. Detection of the genotoxic of air pollutants in around the city of São Paulo (brazil) with the *Tradescantia*- micronucleus (Trad-MCN) assay. **Environmental and Experimental Botany** . v.44, p.1-8.
- HEGGESTAD, H. E. 1991. Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. **Environmental Pollution**, v.74, p.264-291.
- IMA, J.F.; FERNÁNDEZ, E.B. & FAWCETT, W.N. 2000. *Mangifera indica* and *Phaseolus vulgaris* in the bioindication of air pollution in Bahia, Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v.46, p.275-78.
- KELLEHER, T.J. & FEDER, W.A. 1978. Phytotoxic concentrations of ozone on Nantucket Island: long range transport from the middle atlantic states over the open ocean confirmed by bioassay with ozone-sensitive tobacco plants. **Environmental Pollution**. v.17, p.187-193.
- Klumpp, A., Hintemann, T., Lima, J.S. & Kandeler, E. 2003. Bioindication of air pollution effects near a copper smelter in Brazil using mango trees and soil microbiological properties. **Environmental Pollution** 126: 313-21.
- KLUMPP, A.; KLUMPP, G. & DOMINGOS, M. 1994. Plants as bioindicators of air pollution at the Serra do Mar near the industrial complex of Cubatão, **Brazil**. **Environmental Pollution**. v.85, p. 109-16.
- KOPPEL, A. & SILD, E. 1995. Bioindication of ozone in Estonia by using the Tabaco variety Bel W3. **Water, Air and Soil Pollution**, v.85, p.1515-1519.
- LIMA, J.F., FERNÁNDEZ, E.B. & FAWCETT, W.N. 2000. *Mangifera indica* and *Phaseolus vulgaris* in the bioindication of air pollution in Bahia, Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 46: 275-78.
- LIU, S. & REDDLEY, B. 1999. **Atmospheric chemistry and global change**. G.P. Brasseur, J.J. Orlando & G.S. Tyndall (eds.). Oxford University Press.
- LORENZINI, G. 1998. Piante vascolari come bioindicatori dell'aria (inquinamento da ozono): Proposte Metodologiche. In: WORKSHOP BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA SUL TERRITORIO NAZIONALE. Roma, **Anais...**, p.199-216.
- LORENZINI, G.; NALI, C.; DOTA, M.R. & MARTORANA, F. 1999. Visual Assessment of foliar injury induced by ozone on indicator tobacco plants: a data quality evaluation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.62, p.175-191
- MORAES, R.M.; KLUMPP, A.; FURLAN, C.M. & KLUMPP, G., DOMINGOS, M., RINALDI, M.C.S. & MODESTO, I.F. 2002. Tropical fruit trees as bioindicators of industrial air pollution in southeast Brazil. **Environment International**., v.28, p. 367-74.
- NALI, C. & FUMAGALLI, I. 1998. Pianti vascolari come bioindicatori della qualità dell'aria: stato dell'arte della ricerca realizzata in Italia. In: WORKSHOP BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA SUL TERRITORIO NAZIONALE. Roma, **Anais...**, p.33-53



- PEDROSO, A.N.V. 2006. **Avaliação estrutural de *Nicotiana tabacum* BEL W3 sob diferentes níveis de contaminação atmosférica.** São Paulo, SP. 2006. 60p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
- PEÑUELAS, J.; RIBAS, A.; GIMENO, B.S. & FILELLA, I. 1999. Dependence of ozone biomonitoring on meteorological conditions of different sites in Catalonia (N.E.Spain). **Environmental Monitoring and Assessment**, v.56, p.221-224.
- PINA, J.M. & MORAES, R.M. 2007. Ozone-induced foliar injury in saplings of *Psidium guajava* “Paluma” in São Paulo, Brazil. **Chemosphere**, v. 66, p. 1310-1314
- POMPÉIA, S.L.; AIDAR, M.P.M. SUGIYAMA, M.; KIRIZAWA, M.; LOPES, E.A.; CHIEA, S.A.C.; GAETA, M.M.; MENDONÇA, R.R. & SINISGALLI, P.A.A. 1988. Plantas da Serra do Mar resistentes e tolerantes à poluição atmosférica do polo industrial de Cubatão. In: SEMINÁRIO DE INTEGRAÇÃO SOBRE A SERRA DO MAR, 1 São Paulo - SP. **Anais...**, 1988. p.142-146.
- POMPÉIA, S.L.; MARTINS, S.E.; JOAQUIM, V.L.L. 1989. Avaliação dos efeitos da deposição de material particulado sobre a superfície foliar utilizando análise por dispersão de energia e microscopia eletrônica de varredura. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 40, Cuiabá - MT. **Anais...**, 1989.
- PRADELLA, D.Z.A.; LOPES, M.R., BATISTA, E.R. 1999a. **Biomonitoramento ativo de ozônio atmosférico com utilização da espécie *Nicotiana tabacum* L. Bel W3 : relatório preliminar.** São Paulo, Brasil, CETESB. 48p.
- PRADELLA, D.Z.A.; LOPES, M.R.; BATISTA, E.R.; SANTINI, R.G.M.R.; SOUZA, J.B.; MODESTO, R.P.; GUARDANI, M.L.G.; FIALHO, R.C.; ROCCA, A.C.C. ; ALONSO, C.D. 1999b. **Biomonitoramento ativo de ozônio atmosférico com utilização da espécie *Nicotiana tabacum* Bel W3: Relatório Preliminar.** São Paulo : CETESB. 21p.
- PRADO FILHO, J.F. 1993. Uso de bioindicadores para monitoramento do ar. **Revista Ambiente**, São Paulo: CETESB. v.7, p.57-64.
- SEADE, 2009. Perfil Municipal. Disponível em: <http://www.seade.sp.gov.br/produtos/perfil/perfil.php> (acesso em 08/06/2009)
- SHUGART, L.R. 1994. Biological monitoring. In: Renzoni, B., Mattei, N., Lari, L. & Fossi, M. C. (eds.), **Contaminants in the environment. A multidisciplinary assesment of risks to man and others organisms.** Lewis Publishers. p. 29-62.
- SILVA, L.C., AZEVEDO, A.A. SILVA, E.A.M. & OLIVA, M.A. 2005. Effects of simulated acid rain on the growth of five species Brazilian tree species and anatomy of the most sensitivity species (*Joannesia principes*). **Australian Journal of Botany**. v.53, p.789-96.
- SWANSON, E.S.; THOMSON, W.W. & MUDD, J.B. 1973. The effect of ozone on leaf cell membranes. **Canadian Journal of Botany**. v.51, p.1213-19.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2000. **Air Quality Guidelines for Europe**, 2 ed. WHO: Regional Publications. European Series; n. 91.