



## ***Nicotiana tabacum* Bel-W3 no monitoramento das concentrações de ozônio em região industrial, Cubatão (SP)**

**Pedro Ivo Lembo Silveira de Assis** & Regina Maria de Moraes

*Núcleo de Pesquisa em Ecologia, Instituto de Botânica, São Paulo, SP, pedroivolembo@gmail.com*

**Resumo:** A floresta em Cubatão é afetada por diversos poluentes aéreos oriundos das indústrias locais. Uma refinaria instalada próxima ao sopé da Serra está mudando seu modo de obtenção de energia da queima de óleo em caldeiras para uma Usina Termoelétrica (UTE) movida a gás natural. As concentrações de alguns poluentes devem diminuir, porém poderá aumentar o ozônio. *Nicotiana tabacum* L. Bel-W3 (*Solanaceae*) é uma espécie herbácea, sensível ao ozônio, que responde com injúrias foliares visíveis. Portanto, vem sendo utilizada para avaliar a mudança no perfil das concentrações de ozônio no entorno da refinaria. O experimento iniciou antes de a UTE entrar em funcionamento e prosseguirá até seis meses após as caldeiras serem desligadas. Mudanças de *N. tabacum* Bel-W3 foram produzidas e cultivadas em casa de vegetação sob ar filtrado, de modo padronizado. Após 45 dias, as plantas (n=6) foram expostas por 15 dias em oito pontos distribuídos perto da refinaria (CEPEMA e Centro, ao nível do mar) e Serra do Mar (CM1, CM2, CM3, CM4, CM5 e CM6, a 60; 180; 230; 350; 450; e 700 m.s.n.m., respectivamente), e também em uma região considerada referência (RP). A cada 15 dias, estimou-se visualmente a superfície foliar coberta por injúrias, usada para calcular o índice de injúria foliar (IIF, em %). O IIF das plantas expostas no CM2, CM3 e CM4 que atingiam entre 30% e 40% antes da operação da UTE, passaram, após o funcionamento da mesma, a percentuais semelhantes aos obtidos por plantas no CM6 (60%), que já se destacavam anteriormente. Além disso, plantas do CEPEMA foram menos afetadas do que as do RP (16% e 22% de IIF, respectivamente) possivelmente pela alta concentração de poluentes primários. Mudanças no perfil de concentração de ozônio estão sendo verificadas. Logo, este estudo continuará em desenvolvimento para verificar se essas tendências serão confirmadas.

**Palavras-chave:** biomonitoramento; poluição atmosférica; tabaco.

### **INTRODUÇÃO**

A industrialização em Cubatão iniciou na década de 1950, com a instalação da primeira indústria de grande porte, a Refinaria Presidente Bernardes (RPBC) (Leitão-Filho 1993). A partir de então, diversas indústrias surgiram na região, intensificando a poluição atmosférica, gerando um grande problema ambiental (Branco 1984) agravado pelo clima e relevo desfavoráveis à dispersão desses poluentes (Cetesb 2010).

Atualmente, a cidade totaliza mais de 200 fontes de emissão (Cetesb 2010), dentre elas a RPBC, a qual está mudando seu modo de obtenção de energia da queima de óleo em caldeiras para uma Usina Termoelétrica (UTE) movida a gás natural, um combustível mais limpo do que o óleo. Com isso, espera-se que as concentrações de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e MP diminuam, porém poderá acarretar no aumento das concentrações de ozônio no entorno da refinaria.

Segundo Guidi (1999), os efeitos mais evidentes do O<sub>3</sub> em plantas são os sintomas foliares visíveis que surgem em espécies sensíveis. A mais bem descrita espécie bioindicadora de O<sub>3</sub> é *Nicotiana tabacum* L. Bel-W3, a qual vem sendo empregada há várias décadas no mapeamento da distribuição geográfica de concentrações fitotóxicas de O<sub>3</sub> no mundo todo (Heggstad 1991, Krupa *et al.* 2001) inclusive na cidade de São Paulo (Sant'Anna *et al.* 2008). Uma espécie bioindicadora é aquela que exhibe sintomas visíveis quando exposta a um determinado poluente ou mistura de poluentes (De Temmerman *et al.* 2004).

Portanto, devido ao seu potencial bioindicador para este poluente, utilizou-se esta espécie com o intuito de verificar se a mudança no modo de obtenção de energia da RPBC resultará em uma mudança no perfil das concentrações de ozônio no entorno da refinaria.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

#### ***Área e período de estudo***

O estudo foi realizado no município de Cubatão (SP), localizado na Baixada Santista nas coordenadas geográficas 23°52'S e 46°26'O, tendo início em maio de 2009.

### **Cultivo e exposição de *N. tabacum* Bel-W3**

Mudas de *N. tabacum* Bel-W3 foram cultivadas em casa de vegetação contendo ar filtrado, de modo padronizado (VDI 2003).

Após 45 dias, as plantas foram expostas, seguindo o modelo proposto pelo VDI (2003), em nove pontos amostrais, sendo oito distribuídos no entorno da refinaria (CEPEMA e Centro, ao nível do mar) e Serra do Mar (CM1, CM2, CM3, CM4, CM5 e CM6, a 60; 180; 230; 350; 450; e 700 m.s.n.m., respectivamente), e também em uma região considerada referência (RP).

### **Variável analisada**

Ao final de cada exposição, as plantas foram avaliadas quanto à presença de injúrias foliares induzidas pelo O<sub>3</sub>, as quais se iniciam sempre nas folhas mais velhas, não cobrindo nervuras e ocorrem na superfície adaxial da folha, em resultado de morte celular (Sanz *et al.* 2002, VDI 2003).

A estimativa da área foliar coberta por injúrias foi feita ao término de cada exposição por meio de análises visuais, com o auxílio de uma lupa com aumento de 10x, segundo VDI (2003). Para *N. tabacum* Bel-W3, estimou-se as médias de injúrias das folhas 5, 6 e 7 em classes de 5%. Essas médias foram separadas em 5 classes, sendo elas de 1 a 6%, 7 a 25%, 26 a 50%, 51 a 75% e mais que 75%, de acordo com Chappelka *et al.* (1997), que em seguida foram utilizadas para calcular o Índice de Injúria Foliar (IIF), segundo Furlan *et al.* (2007):

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

onde, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>, N<sub>4</sub>, N<sub>5</sub> são, respectivamente, o número de folhas nas classes 1, 2, 3, 4, e 5 de injúrias.

Os resultados obtidos foram divididos em três etapas distintas, relacionadas com as mudanças no modo de geração de energia, separando-as em: 1) UTE desligada + 4 caldeiras (maio/09 a abril/10); 2) UTE ligada + 4 caldeiras (maio/10 a julho/10); e 3) UTE ligada + 3 caldeiras (julho/10 a fevereiro/11). Na etapa 1, a UTE estava em construção e a refinaria funcionava com quatro caldeiras que queimavam óleo. Na etapa 2 a UTE foi ligada, mas nenhuma caldeira foi desligada, portanto, neste período, a poluição pode ter se agravado na região. Na etapa 3 a Petrobrás iniciou o desligamento das caldeiras e a refinaria passou a utilizar a energia proveniente da UTE e de 3 caldeiras.

### **Análise Estatística**

Os resultados foram avaliados por meio de análise de variância (One Way ANOVA) quando os requisitos dos testes de normalidade e igualdade de variância permitiam. Quando esses critérios não eram atendidos, utilizou-se a análise de variância não paramétrica (ANOVA on Ranks).

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os sintomas foliares induzidos pelo ozônio foram vistos em todas as 31 exposições, realizadas entre maio/2009 e fevereiro/2011, em diferentes intensidades, assim como observado por Sant'Anna *et al.* (2008) e Calatayud *et al.* (2007).

O IIF foi sempre maior em plantas expostas no local mais alto (CM6), tanto na primeira quanto na segunda etapa (Figura 1). Tabacos deste ponto obtiveram médias que variaram entre 30% e 58%, sendo este valor máximo dificilmente alcançado por plantas de outros locais nestes dois períodos. A relação existente entre danos mais severos conforme a elevação da altitude foi relatada por Saitanis *et al.* (2004), que segundo Fernández (2009), se deve à maior intensidade da radiação solar, favorecendo as reações fotoquímicas e diminuindo os processos de destruição do ozônio, resultando no aumento de suas concentrações.

Após o desligamento de uma das caldeiras (fase 3), as plantas que permaneciam em locais situados na subida e meia encosta da serra (CM2, CM3 e CM4), passaram a apresentar maiores porcentagens de área foliar coberta por injúrias, assim como as do CM6, se destacando quanto aos demais pontos (Figura 1). Uma das hipóteses sugeridas para o aumento das injúrias em plantas destas áreas seria o desligamento de uma das quatro caldeiras. É possível que nesse período tenha ocorrido um aumento nas emissões de hidrocarbonetos decorrentes da combustão do gás natural, levando ao aumento das concentrações de ozônio no local.

As plantas expostas em pontos localizados ao nível do mar (CEPEMA, Centro e RP) foram, na maioria das vezes, menos afetadas pela ação do ozônio, quando comparadas com as expostas em pontos situados na Serra do Mar (Figura 1). A menor presença de injúrias nos dois primeiros locais pode ser devida ao fato de ambos estarem em regiões de intenso tráfego, portanto contaminadas por óxidos de nitrogênio, que atuam como consumidor do ozônio, diminuindo suas



concentrações na atmosfera. Este fato também foi relatado por Sant'Anna *et al.* (2008) e Calatayud *et al.* (2007) em seus respectivos estudos.

Quanto ao RP, apesar de estar geograficamente protegido contra a poluição proveniente da refinaria, esta área, possivelmente, sofre influência do tráfego existente na Rodovia dos Imigrantes, situada próxima ao local, e por isso a ocorrência de injúrias nas plantas expostas nesse local, como também foi verificado por Klumpp *et al.* (1994).

## CONCLUSÕES

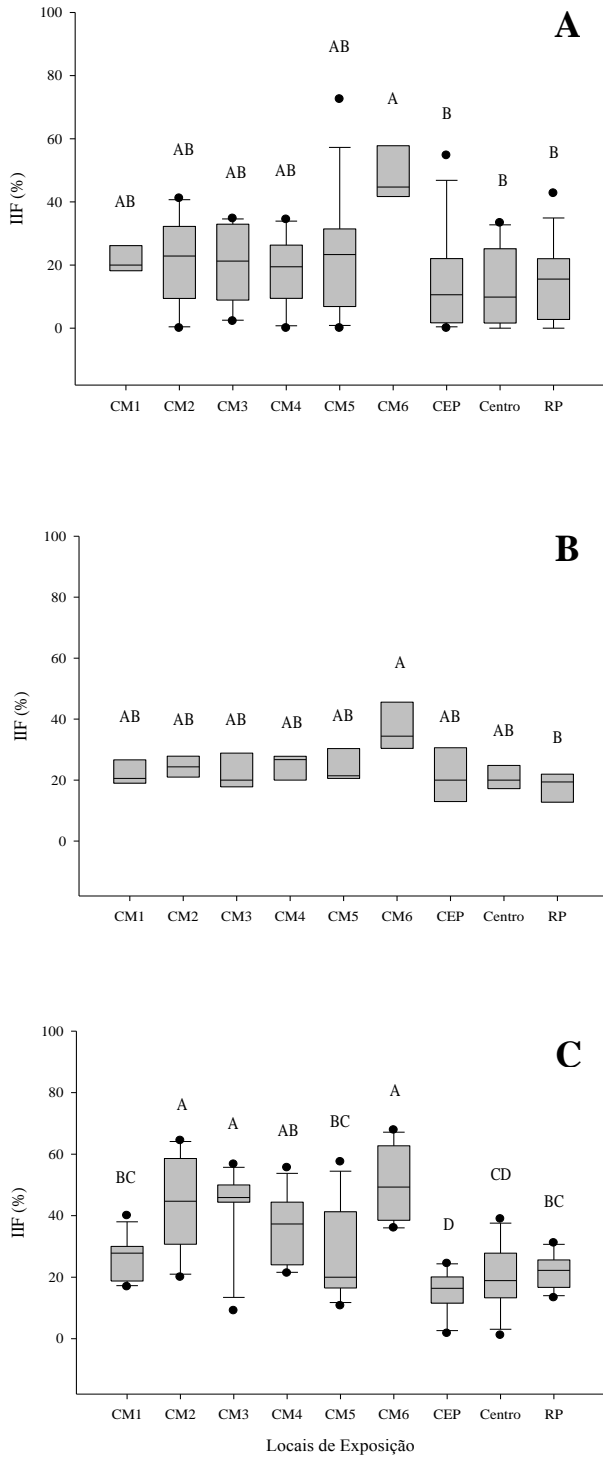
Os resultados obtidos até o momento com *Nicotiana tabacum* Bel-W3, indicam uma alteração no perfil de toxicidade imposta pelo ozônio a partir de mudanças ocorridas na Refinaria Presidente Bernardes, Cubatão (SP), com as plantas expostas em locais na subida, meia encosta e alto da serra sendo mais afetadas, enquanto plantas mais próximas a locais de intenso tráfego e de fontes emissoras de NO<sub>x</sub> são menos afetadas pelo O<sub>3</sub>.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP pela bolsa concedida (Proc. 2010/05102-8).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Branco, S. M.** 1984. O fenômeno Cubatão. 1 ed. CETESB/ASCETESB, São Paulo.
- Calatayud, V., Sanz, M. J., Calvo, E., Cerveró, J., Ansel, W. & Klumpp, A.** 2007. Ozone biomonitoring with Bel-W3 tobacco plants in the city of Valencia (Spain). *Water, Air, and Soil Pollution* 183: 283-291.
- Cetesb.** 2010. Qualidade do ar no Estado de São Paulo. Série relatórios. São Paulo.
- Chappelka, A., Renfro, J., Somers, G. & NASH, B.** 1997. Evaluation of ozone injury on foliage of blackcherry (*Prunus serotina*) and tall milkweed (*Asclepias exalata*) in Great Smoky Mountains National Park. *Environmental Pollution* 95: 3-18.
- De Temmerman, L., Bell, J. N. B., Garrec, J. P., Klumpp, A., Krause, G. H. M. & Tonneijck, A. E. G.** 2004. Biomonitoring of air pollution with plants – considerations for the future. In: Klumpp, A., Ansel, W. & Klumpp, G. (eds.). *Urban air pollution, bioindication and environmental awareness*, Göttingen, pp. 337-373.
- Fernández, I. G.** 2009. Flujos estomáticos de ozono y sus efectos sobre La vegetación. Relaciones dosis respuesta. Tese de doutorado. Universitat Autònoma de Madrid.
- Furlan, C. M., Moraes, R. M., Bulbovas, P., Domingos, M., Salatino, A. & Sanz, M. J.** 2007. *Psidium guajava* 'Paluma' (the guava plant) as a new bio-indicator of ozone in the tropics. *Environmental Pollution* 147: 691-695.
- Guidi, L., Di Cagno, R. & Soldatini, G. F.** 1999. Screening of bean cultivars for their response to ozone as evaluated by visible symptoms and leaf chlorophyll fluorescence. *Environmental Pollution* 107: 349-355.
- Heggstad, H. E.** 1991. Origin of Bel-W3, Bel-C, and Bel-B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. *Environmental Pollution* 74: 264-291.
- Klumpp, A., Klumpp, G. & Domingos, M.** 1994. Active biomonitoring at Serra do Mar near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *Environmental Pollution* 85: 109-116.
- Krupa, S., Mcgrath, M. T., Andersen, C. P., Booker, F. L., Burkey, K. O., Chappelka, A. H., Chevone, B. I., Pell, E. J. & Zilinskas, B. A.** 2001. Ambient ozone and plant health. *Plant Diseases* 85: 4-12.
- Leitão-Filho, H. F.** 1993. Ecologia da mata Atlântica em Cubatão. 1 ed. Editora da Universidade Estadual Paulista, Editora da Universidade de Campinas, São Paulo.
- Saitanis, C. J., Katsaras, D. H., Riga-Karandinos, A. N., Lekkas, D. B. & Arapis, G.** 2004. Evaluation of ozone phytotoxicity in the greater area of a typical Mediterranean small city (Volos) and in the nearby forest (Pelion Mt.), Central Greece. *Environment and Contaminant Toxicology* 72: 1268-1277.
- Sant'Anna, S. M., Esposito, M. P., Domingos, M. & Souza, S. R.** 2008. Suitability of *Nicotiana tabacum* Bel-W3 for biomonitoring photochemical compounds in São Paulo, Southeast Brazil. *Environmental Pollution* 151: 389-394.
- Sanz, M. J., Sanchez, G., Calatayud, V., Gallego, M. T. & Cervero, J.** 2002. La contaminación atmosférica de los bosques: Guía para la indentificación de los daños visibles causados por ozono. Ministerio Del Medio Ambiente, Madrid.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure.** 2003. Biological measuring techniques for the determination and evaluation of effects of air pollutants on plants (bioindication). Determination and evaluation of the phytotoxic effects of photooxidants. Method of the standardized tobacco exposure. VDI 3957/6. VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, Vol. 1a, Beuth, Berlin.



**Figura 1.** Índice de injúria foliar (IIF), em %, em plantas de *Nicotiana tabacum* Bel-W3 expostas nos diferentes locais de estudo durante as três etapas: A) UTE desligada + 4 caldeiras; B) UTE ligada + 4 caldeiras; e C) UTE ligada + 3 caldeiras, compreendidas entre maio/2009 a fevereiro/2011. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ).