

Avaliação do crescimento de plantas de *Ipomoea nil* (L.) cv. Scarlet O'Hara e cv. Purple Haze expostas à condição atmosférica urbana na cidade de São Paulo/SP.

Camila Rosal¹, Lucíola Fátima Muller de Souza¹, Paulo Henrique Apro¹, Viviane dos Santos Pereira¹, Marisa Domingos², Maurício Lamano Ferreira¹

¹Universidade Nove de Julho / Departamento de Saúde, Av. Adolfo Pinto, 109 - Barra Funda
mauriciolamano@uninove.br

²Instituto de Botânica, Seção de Ecologia, Av. Miguel Stefano 3687 - Água Funda.

Resumo- Cultivares de plantas de *Ipomoea nil* cv. Scarlet O'Hara e cv. Purple Haze foram expostas durante 70 dias sob as condições atmosféricas do Parque do Ibirapuera, São Paulo/SP, onde se objetivou fazer uma comparação em medidas de crescimento da parte aérea das plantas expostas à poluição atmosférica local. Foram realizadas medidas de altura de caule e também calculado o índice de área foliar (IAF) em 40 plantas, 20 de cada cultivar acima citada. As medições tiveram periodicidade semanal, sendo concluídas na 10ª semana. Plantas da cv. Scarlet O'Hara e cv. Purple Haze apresentaram uma mesma tendência exponencial de crescimento em altura do caule ($R^2=0,89$; $R^2=0,93$, respectivamente) e uma mesma tendência linear na média dos índices de área foliar ($R^2=0,91$; $R^2=0,96$, respectivamente). Em média a sexta folha mais velha da cv. Scarlet O'Hara apresentou uma correlação negativa com os valores médios de material particulado e NO_2 ($r=-0,81$, $P=0,027$; $r=-0,83$, $P=0,021$, respectivamente). Para os parâmetros analisados, plantas da cultivar Scarlet O'Hara se mostraram mais vulneráveis às condições atmosféricas locais se comparadas a cultivar Purple Haze.

Palavras-chave: ozônio, crescimento vegetal, *Ipomoea nil*.

Área do conhecimento: Ciências Biológicas

Introdução

Frente a um crescimento desenfreado da população e uma considerável expansão do setor industrial, a situação nos grandes centros urbanos tem se agravado consideravelmente em relação à poluição atmosférica, sendo o principal fator desse quadro as atividades antrópicas (Pedroso, 2007). São vários os índices que comprovam a degradação ambiental na atualidade, dentre eles podem se destacar a intensificação do efeito estufa, o aumento de chuva ácida, o aquecimento global, e como consequência, os efeitos refletem diretamente sobre a saúde humana e ambiental (Pedroso, 2006).

Um dos principais fatores dos elevados índices de poluição atmosférica está relacionado ao aumento da frota veicular e suas emissões, dentre os quais o ozônio se destaca por apresentar alta fitotoxicidade (Domingos, 2002).

Conforme dados publicados no relatório CETESB (2008), o limite de ozônio para uma boa qualidade do ar é de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (82 ppb). A RMSF ultrapassa frequentemente esse limite, superando o valor de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (120ppb), o que determina a qualidade do ar ruim. Essa condição pode interferir na taxa de fotossíntese produzida pelos vegetais. Esse fenômeno é considerado, dentro da

perspectiva humana, um dos processos mais importantes, pois representa a entrada de energia na biosfera. Organismos fotossintetizantes, através da luz solar, convertem CO_2 e H_2O , em moléculas orgânicas complexas que podem ser utilizadas igualmente por plantas e animais. Há também a liberação de O_2 para o ar que respiramos, e é este oxigênio que exerce papel importante na respiração celular e na síntese de ATP (Raven *et al.* 2001).

Segundo Cunha (2006), durante os processos normais de trocas gasosas entre a planta e o ambiente, o ozônio pode penetrar na folha através dos estômatos, e no interior da folha, reagir com os componentes da parede celular e membrana plasmática, pois é uma molécula altamente reativa, formando espécies reativas de oxigênio (ERO). Tais espécies têm o poder de degradar lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos, gerando assim o estresse oxidativo.

Segundo Bulbovas *et al.* (2007), a exposição de plantas de *Glycine max* ao ozônio levou a diminuição na fotossíntese líquida, causando distúrbios em várias etapas do processo fotossintético, o que interferiu diretamente no desenvolvimento do vegetal. Segundo Moraes *et al.* (2000), observaram redução do crescimento em plantas de *Tibouchina pulchra* Cogn através

quando expostas à poluição aérea em Cubatão/SP.

Como consequência desse estresse, pode-se destacar a degradação estrutural da cera epicuticular, injúrias no parênquima paliçádico e do mesófilo, redução da fotossíntese, acúmulo foliar de carboidratos e amido, mudanças na translocação e alocação de carboidratos, redução da biomassa, redução na razão entre os sistemas aéreo e radicular da planta, aumento na formação de ramos laterais e mudança na arquitetura da planta. (Domingos 2002 *Apud* Freedman 1995; Espósito 2008)

Atualmente é possível encontrar uma grande quantidade de trabalhos evidenciando a comparação de plantas expostas à poluição atmosférica. Dentre eles pode-se destacar o de Pedrosa *et al.* (2008), que buscaram respostas para a sensibilidade e tolerância apresentadas pelas cultivares Bel-W3 e Bel-B respectivamente. Outros autores como Pasqualini *et al.* (2002) e Buuren *et al.* (2002), buscaram com base em avaliações metabólicas justificar a variação na sensibilidade entre as cultivares Bel-W3 e Bel-B. Ferdinand *et al.* (2000) que através de dois genótipos de *Prunus serotina* Ehrh., buscaram avaliar a diferença de sensibilidade dos mesmos ao ozônio.

Este estudo tem o propósito de comparar os parâmetros de crescimento da parte aérea de duas cultivares de plantas de *Ipomoea nil* (L.), sendo uma delas a cv. Scarlet O'Hara e a outra a cv. Purple Haze, expostas à poluição atmosférica no Parque do Ibirapuera, conhecendo assim o grau de suscetibilidade das cultivares, através das tendências de crescimento apresentadas.

Material e Métodos

As sementes de plantas de *Ipomoea nil* (L.) Roth cv. Scarlet O'Hara e cv. Purple Haze foram adquiridas de um mesmo fornecedor comercial, sendo todas de um mesmo lote. As sementes foram germinadas em bandejas plásticas próprias para semeadura. O substrato utilizado para germinação foi composto por uma mistura de produto comercial produzido a base de casca de *Pinus* (Plantimax-Eucatex) e de Vermiculita fina, na proporção de 3:1, respectivamente, onde as plântulas se desenvolveram até o surgimento da segunda folha cotiledonar. Após seu surgimento, as plântulas foram transplantadas para vasos plásticos com a mesma mistura de substrato utilizada na germinação das sementes.

As plantas tiveram a irrigação adequada garantida por capilaridade, por intermédio de

cordões de *nylon* inseridos na base dos vasos, sendo que uma de suas extremidades permaneceu em contato com as raízes e a outra extremidade esteve mergulhada em água de torneira contida na caixa plástica cobertas com tela de arame galvanizado, seguindo modelo proposto pela VDI (2003) para *Nicotiana tabacum*.

As plântulas foram expostas ao lado da estação de monitoramento da CETESB do Ibirapuera quando apresentaram as duas folhas cotiledonares expandidas, recebendo após a quarta semana de exposição 100ml de solução nutritiva *hoagland* conforme descrito por Ferreira (2007). Foi realizada uma campanha experimental, com duração de 70 dias, no período de 10 de Agosto a 18 de Outubro de 2009, iniciada com 40 plantas produzidas conforme descrição acima, sendo 20 plantas de cada cultivar.

Foram realizadas medidas iniciais de altura do caule (desde o solo até a gema apical), e tamanho de folhas (comprimento e largura). A partir dos dados foliares calculou-se o IAF para *Ipomoea nil* utilizando-se um fator de correção proposto por Bianco e colaboradores (2007), conforme equação abaixo:

$$IAF = 0,6211 * (\text{largura} * \text{comprimento})$$

A contagem das folhas seguiu sua idade sendo, as folhas mais próximas do solo as mais velhas (folhas 3, 4 e 5) e as mais próximas da gema apical as mais novas (folha 6, 7, 8 e 9). As folhas selecionadas para as medições foram as do ramo principal sendo marcadas da mais velha (terceiro nó) até as mais novas (nono nó). As medições tiveram periodicidade semanal, sendo concluídas na 10ª semana.

Resultados

A partir dos resultados obtidos, observou-se uma tendência de variação nos parâmetros de crescimento entre as plantas de *Ipomoea nil* (Roth) cv. Scarlet O'Hara e cv. Purple Haze, expostas a atmosfera do Parque do Ibirapuera em São Paulo.

De acordo com os dados obtidos observou-se que durante o período de exposição, o caule apresentou um padrão exponencial de crescimento, conforme a Figura 1, fato que pode ser comprovado através da curva de regressão traçada a partir dos pontos obtidos no gráfico para a cv. Scarlet O'Hara e cv. Purple Haze ($R^2 = 0,8896$ e $R^2 = 0,9329$ respectivamente).

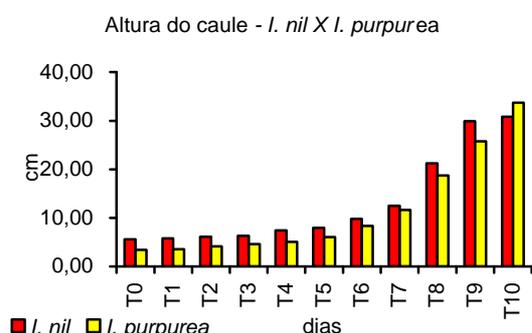


Figura 1 – Valores médios de altura do caule (cm) ao longo do experimento.

As folhas das plantas da cv. Scarlet O`Hara e cv. Purple Haze apresentaram seu nível de expansão em períodos comuns, sendo para a 3ª e 4ª folha na primeira semana, 5ª folha na segunda semana, 6ª folha na quarta semana, 7ª e 8ª folha na sexta semana, exceto a 9ª folha que teve sua expansão alcançada em diferentes períodos, sendo na sexta semana para cv. Purple Haze e na sétima semana para cv. Scarlet O`Hara. Notou-se também que para as plantas da cv. Scarlet O`Hara durante a nona e a décima semana de exposição, os valores não apresentaram uma tendência de crescimento evidente, muitas vezes expressando a menor taxa de crescimento dos órgãos.

Com base nos valores de medidas de crescimento das plantas das *Ipomoeas*, observou-se que a 3ª e 4ª folha mais velha do ramo principal apresentou uma pequena tendência de crescimento. Com base nos valores obtidos nas folhas mais novas das plantas de *Ipomoea*, foi observado uma maior tendência de crescimento. Fato que coincide com a altura do caule a partir da sexta semana de exposição (Figura 1).

Os parâmetros de crescimento representados pelo IAF referentes em todas as folhas medidas apresentaram crescimento linear com alta explicabilidade, conforme mostra a Tabela 1. As folhas 6 e 7 da cv. Scarlet O`Hara apresentaram os menores de R².

Tabela 1- Valores de significância representados por R², das variáveis do IAF das folhas das cultivares Scarlet O`Hara e Purple Haze ao longo do tempo.

Curva de Regressão Linear - R²		
IAF3	Scarlet O`Hara	R² = 0,9807

	Purle Haze	R² = 0,8763
IAF4	Scarlet O`Hara	R² = 0,9038
	Purle Haze	R² = 0,9600
IAF5	Scarlet O`Hara	R² = 0,9291
	Purle Haze	R² = 0,9799
IAF6	Scarlet O`Hara	R² = 0,8865
	Purle Haze	R² = 0,9874
IAF7	Scarlet O`Hara	R² = 0,8485
	Purle Haze	R² = 0,9848
IAF8	Scarlet O`Hara	R² = 0,9499
	Purle Haze	R² = 0,9790
IAF9	Scarlet O`Hara	R² = 0,9059
	Purle Haze	R² = 0,9290

A análise de correlação de Pearson foi realizada a fim de determinar quais fatores abióticos (NO₂ (µg/m³), O₃ (µg/m³), MP₁₀ (µg/m³), velocidade do vento (m/s), radiação global (W/m²)) poderiam influenciar na resposta do crescimento das plântulas das cultivares Scarlet O`Hara e Purple Haze.

A análise realizada mostrou que o MP₁₀ e NO₂ foram as variáveis ambientais que apresentaram maior correlação negativa sobre o IAF da 6ª folha da cv. Scarlet O`Hara podendo essa ser uma condição ambiental que afetou o seu desenvolvimento (r= -0,809; P=0,0275 e r= -0,83; P=0,0209, respectivamente).

Outra correlação positiva que a análise demonstrou foi entre os índices de radiação global e o IAF 8 (r= 0,91; P=0,032) de indivíduos da cv Scarlet O`Hara.

Discussão

De acordo com os valores representados na Figura 1 (altura do caule) as plantas apresentaram uma tendência de crescimento exponencial, fato que pode ser explicado, através da alta atividade do meristema apical caulinar, sem uma

interferência direta da contaminação atmosférica local.

Em geral, o pequeno crescimento observado nos órgãos nas primeiras semanas, pode estar relacionado aos baixos valores de umidade relativa do ar e altas temperaturas na RMSP, conforme dados publicados no *site* do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia do Governo, 2009), que registrou índices de até 13% de umidade relativa do ar e temperaturas acima de 31°C para esse período. Portanto, tais condições registradas nesse período podem explicar um possível estresse hídrico nas plantas.

A baixa umidade do ar e altas temperaturas são responsáveis pelo estresse hídrico em vegetais, pois provocam perda excessiva de água pela transpiração. Como *feedback* a esse processo pode ocorrer um maior fechamento dos estômatos e como consequência o impedimento de trocas gasosas com o meio ambiente.

Deve-se considerar, ainda, que múltiplos fatores ambientais de estresse nas condições de campo, ao afetarem a condutância estomática das plantas, podem alterar tanto o fluxo do poluentes, como o fluxo de CO₂ para o interior da planta (Bulbovas *et al.* 2008). Essa situação pode levar as plantas a uma menor otimização do processo de fotossíntese, que é essencial ao desenvolvimento da planta (Moraes, 2000). Cabral e colaboradores (2004), descreveram que plantas jovens de *Tabebuia aurea* submetidas a estresse hídrico, sofreram redução significativas no crescimento (cm) da parte aérea, reduções acentuadas no número e na área foliar total, sendo evidentes os efeitos do ambiente no desenvolvimento e na produtividade vegetal.

Outro fator que pode estar relacionado aos baixos valores dos parâmetros de crescimento das plantas nesse período de baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas é o aumento dos níveis de poluição aérea, que mesmo apresentando dificuldades de entrada das folhas devido a um maior fechamento das vias estomáticas, ainda podem interferir em processos fisiológicos vitais, mesmo que alguns poluentes apresentem-se em baixas concentrações. Segundo Ferreira (2007) essa condição climática favorece a formação de poluentes secundários na troposfera, o que pode oferecer maior risco aos organismos vivos em geral.

Em geral, as folhas apresentaram uma uniformidade nos padrões de crescimento, fato que sugere indiretamente que as plantas não apresentaram uma situação de estresse. Essa sugestão contraria os achados de Ferreira (2007), que notou um aumento nos índices de

antioxidantes em plantas de *I. nil* cv Scarlet O'Hara expostas no parque do Ibirapuera, sendo esse aumento notificado como uma resposta à contaminação atmosférica do local.

A partir da quarta semana os índices de umidade relativa do ar na RMSP sofreram um relativo aumento e se estabilizam até o final da campanha experimental, conforme dados publicados na página da *internet* do INMET (2009). Tal fator pode ter influenciado também as tendências de parâmetros de crescimento avaliados nesse estudo uma vez que havendo um aumento da precipitação pode haver uma diminuição da concentração dos poluentes atmosféricos (Moura, 2008).

A correlação negativa das variáveis ambientais MP₁₀ e NO₂ sobre o IAF da 6ª folha da cv Scarlet O'Hara pode estar relacionado ao prejuízo de seu desenvolvimento, uma vez que Ferreira *et al.* (2007) observou que a 6ª folha mais velha do ramo principal de indivíduos dessa mesma cultivar demonstraram uma sensibilidade maior ao ozônio quando comparada a outras folhas também expostas no parque do Ibirapuera. Raven e colaboradores (2001), descrevem efeitos danosos em plantas por consequência do MP₁₀, que pode por deposição, obstruir os estômatos impedindo trocas gasosas e por consequência a fotossíntese. A correlação positiva da radiação global com o IAF da oitava folha mais velha da cv Scarlet O'Hara mostra um efeito direto da fotossíntese (Raven *et al.* 2001, Moraes 2000)

Conclusão

As cultivares Scarlet O'Hara e Purple Haze apresentaram respostas nas tendências de crescimento provavelmente influenciadas por fatores ambientais (baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas) a que foram expostas. A radiação influenciou positivamente os valores de parâmetros de crescimento apresentados. O que requer um cuidado especial uma vez que essas plantas são amplamente utilizadas na ornamentação, tornando-as relativamente vulneráveis. Para os parâmetros analisados, plantas da cultivar Scarlet O'Hara se mostraram mais vulneráveis às condições atmosféricas locais se comparadas a cultivar Purple Haze. São necessários estudos mais profundos, principalmente em câmaras de fumigação, para se comprovar as diferenças em padrões de crescimento e resposta à contaminação aérea entre as duas cultivares.

Referências

- ALMEIDA, L. P.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; ZANELA, S. M.; VIEIRA, C. V. Crescimento inicial de plantas de *Cryptocaria aschersoniana* Mez. submetidas a níveis de radiação solar. Santa Maria. Ciência Rural. V.34 n.1. p.83-88. 2004.
- BIANCO, S.; BIANCO, M. S.; PAVANI, M. C. M. D.; DUARTE, D.J. Estimativa da área foliar de *Ipomoea hederifolia* e *Ipomoea nil* Roth usando dimensões lineares do limbo foliar. Viçosa. Planta Daninha. V.25, n.2, p. 325-329.2007.
- BULBOVAS, P.; SOUZA, S. R.; MORAES, R. M.; LUIZÃO, F.; ARTAXO, P. Plântulas de soja 'Tracajá' expostas ao ozônio sob condições controladas. Brasília. Pesquisa Agropecuária Brasileira. V.42, n.5, p.641-646. 2007.
- PATRICIA BULBOVAS, et. al. Avaliação da sensibilidade de plantas jovens de quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. - Malvaceae) ao ozônio. Hoehnea 35(3): 359-366, 2008
- BUUREN, M.L.; GUIDI, L.; FORNALÉ, S.; GHETTI, F.; FRANCESCHETTI, M.; SOLDATINI, G.F. & Bagni, N. Ozone-response mechanisms in tobacco: implications of polyamine metabolism. New Phytologist. 156: 389-398. 2002.
- CABRAL, E. L.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. Acta Botanica Brasílica. 18(2): p.241-251. 2004.
- CETESB (São Paulo) Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2008. [recurso eletrônico] / CETESB - São Paulo: CETESB, 2009. 340 p.: "il. color" - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103). 2008.
- CUNHA, A. L. Avaliação do crescimento de plantas jovens de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau brasil) expostas à poluição aérea em diferentes regiões da cidade de São Paulo / SP. Dissertação (Mestrado em Ecologia Vegetal) - Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo. São Paulo, 2006.
- DOMINGOS, M.; BOUROTTE, C.; KLUMPP, A.; KLUMPP, G. & FORTI, M.C. Impactos de poluição atmosférica sobre remanescentes florestais. In: Parque Estadual das fontes do Ipiranga (PEFI): unidade de conservação ameaçada pela urbanização de São Paulo (Bicudo DC, Forti MC & Bicudo CEM, orgs.) São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2002. p. 221-249.
- ESPOSITO, M. P. Estudo da relação entre necroses foliares indicadoras de ozônio atmosférico e defesas antioxidativas em folhas de *Nicotiana tabacum* "Bel W3". Dissertação (Mestrado em Ecologia Vegetal) Instituto de Botânica de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, USP. São Paulo, 2008.
- FERDINAND, J.A.; FREDERICKSEN, T.S.; KOUTERICK, K.B. & SKELLY, J.M. Leaf morphology and ozone sensitivity of two open pollinated genotypes of black cherry (*Prunus serotina*) seedlings. Environmental Pollution 108: 297-302. 2000.
- FERREIRA, M. L. Relação entre antioxidantes e sintomas visíveis bioindicadores de ozônio em *Ipomoea nil* (L.) Roth CV. Scarlet O'Hara sob efeito da poluição aérea urbana em São Paulo. Dissertação (Mestrado em Ecologia Vegetal) - Instituto de Botânica de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, USP. São Paulo, 2007.
- FERREIRA, M. L., NOBRE, J. B, SOUZA, S.R., DOMINGOS, M. O Papel do Ácido Ascórbico na Defesa de *Ipomoea nil* (L.) Roth cv. Scarlet O'Hara sob o Efeito da Poluição Aérea. Porto Alegre. Revista Brasileira de Biociências. V.5, supl.2. p. 312-314. 2007.
- FREEDMAN, B. The ecological effects of pollution, disturbance and other stresses. 2nd. Academic Press Inc. San Diego: Environmental ecology. 1995.
- JUNIOR, J. L.; BOARETTO, R. M. ; SILVA, M. L. S.; CORREIA, D.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. Brasília. Pesquisa Agropecuária Brasileira. V.40, n.2, p.145-151. 2005.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – Instituto nacional de meteorologia. Monitoramento das estações automáticas, de agosto a outubro de 2009. (<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automatica.s.php>). Acesso em: 12 out. 2009.

- MORAES, R. M.; DELITTI, W. B. C.; MORAES, J. A. P. V. Respostas de indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. à poluição aérea de Cubatão, SP: fotossíntese líquida, crescimento e química foliar. São Paulo. Revista Brasileira de Botânica. V.23, n.4, p.443-449. 2000.
- MOURA, B. B. Respostas estruturais em *Ipomea nil* (L.) Roth cv. Scarlet O'Hara (Convolvulaceae) exposta ao ozônio. Dissertação (Mestrado em Ecologia Vegetal) - Instituto de Botânica de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, USP. São Paulo, 2008.
- PASQUALINI, S.; ANTONIELLI, M.; EDERLI, L.; PICCIONI, C. & LORETO, F. Ozone uptake and its effect on photosynthetic parameters of two tobacco cultivars with contrasting ozone sensitivity. Plant Physiology Biochemistry. 40: 599-603. 2002.
- PEDROSO, A. N. V. Avaliação estrutural de *Nicotiana tabacum* 'Bel W3' sob diferentes níveis de contaminação atmosférica. Dissertação (Mestrado em Ecologia Vegetal) - Instituto de Botânica de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, USP. São Paulo, 2006.
- PEDROSO, A. N. V. Poluentes Atmosféricos & Plantas Bioindicadoras. Programa de Pós - graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. Instituto de Botânica de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, USP. São Paulo, 2007.
- PEDROSO, A. N.; ALVES, E. S. Anatomia foliar comparativa das cultivares de *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) sensível e tolerante ao ozônio. Acta Botanica Brasilica. 22(1): p.21-28. 2008.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Biologia Vegetal. 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.330 p.
- SANTOS, H. C.; FRAGA, V. RAPOSO, R. W. C. & PEREIRA, W. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos. Crescimento vegetativo e produção. Campina Grande. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.13, n.2, p.125-130, 2009.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure. 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. 2003.