

Efeitos da poluição aérea e edáfica no sistema radicular de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) em área de Mata Atlântica: associações micorrízicas e morfologia¹

SOLANGE C. MAZZONI-VIVEIROS^{2,3} e SANDRA F.B. TRUFEM²

(recebido: 13 de novembro de 2002; aceito: 19 de fevereiro de 2004)

ABSTRACT – (Effects of air and soil pollution on the root system of the *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae): arbuscular mycorrhizal associations and morphology) in Atlantic Forest area. The effects of atmospheric pollutants, originated from the industrial region of Cubatão, São Paulo State, were analysed on plants of *Tibouchina pulchra* from three areas with different types of pollutants. Root systems were used from passive and active monitoring specimens, and open-top-chambers (filtrated and no-filtrated air) specimens too. It was possible to evaluate the quantitative data from the root systems, the vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) diversity, the mycorrhizal colonization percentage and the spores quantity in the rhizosphere soil. The results showed that in the most polluted area the specimens have: - increase in the mycorrhizal colonization percentages; - more VAM species diversity and quantity; - reduction tendency in the root system development, especially in the wood roots length; - increase tendency in the fine roots quantity. These results demonstrate that the species studied is tolerant to the stress caused from the pollutants, with reduction of the tolerance when the action of atmospheric pollutants takes place together the action of soil pollutants.

Key words - biomonitoring, mycorrhizal colonization, pollution, root system, VAM diversity

RESUMO – (Efeitos da poluição aérea e edáfica no sistema radicular de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae): associações micorrízicas arbusculares e morfologia) em área de Mata Atlântica. O efeito dos poluentes aéreos, oriundos do complexo industrial de Cubatão, Estado de São Paulo, foi analisado em plantas de *Tibouchina pulchra* de três áreas com diferentes níveis de poluição. Utilizaram-se sistemas radiculares de espécimes dos biomonitoramentos passivo e ativo, além daqueles das câmaras de topo aberto (ar filtrado e ar não filtrado). Dados quantitativos do sistema radicular, a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), a porcentagem de colonização das raízes e a quantidade de esporos presentes no solo da rizosfera foram avaliados. Os resultados demonstraram haver nos indivíduos sujeitos aos maiores índices de poluição: - aumento da colonização micorrízica arbuscular; - maiores diversidade e abundância de espécies de FMAs; - tendência de redução no desenvolvimento do sistema radicular, principalmente em relação ao comprimento e às raízes lenhosas; - tendência de aumento na quantidade de raízes de pequeno calibre. Os resultados confirmaram a tolerância da espécie ao estresse causado pelos poluentes, demonstrando que essa tolerância pode ser reduzida quando a ação dos mesmos ocorre pelas vias aérea e edáfica.

Palavras-chave - biomonitoramento, colonização micorrízica, diversidade de FMAs, poluição, sistema radicular

Introdução

O município de Cubatão se encontra no litoral da cidade de São Paulo onde, em sua área e adjacências, se localizam indústrias petroquímicas, de fertilizantes, de cimento e outras igualmente poluidoras que se instalaram no local ao redor da década de 1950

aproveitando-se das facilidades do maior porto marítimo do país, o Porto de Santos, e dentro do lema “desenvolvimento a qualquer custo”.

A localização desse pólo industrial é tal que os poluentes emanados pelas chaminés (material particulado, fluoretos, amônia, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, dióxido de enxofre, entre outros) são carregados pelos ventos que sopram em direção ao continente e acabam por encontrar a barreira física representada pela Serra do Mar. Essa barreira promove a condensação da água evaporada do mar que, por sua vez, se precipita na região como chuva ácida, ainda carregada de elementos particulados e outros que estavam em suspensão na atmosfera (Ab’Saber 1987).

A partir de 1984 passou-se a perceber visíveis danos à vegetação fanerogâmica, com morte de muitas árvores

1. Parte da Tese de doutorado de S.C. Mazzoni-Viveiros, vinculada ao Programa de Pós-graduação do Departamento de Botânica da Universidade de São Paulo.
2. Instituto de Botânica, Caixa Postal 4005, 01061-970 São Paulo, SP, Brasil.
3. Autor para correspondência: mazzoni-viveiros@uol.com.br

e conseqüentes deslizamentos de terra, acarretados pelo solo desnudo e as chuvas abundantes que ocorrem na região. A partir de 1988, finalmente, as autoridades constituídas passaram a voltar a atenção para a área, propondo a realização de estudos que visassem o entendimento dos fenômenos que atingiam a região, bem como a proposta de medidas para a recuperação da antiga exuberante vegetação de Mata Atlântica (SMA 1990)

Ressalta-se, no entanto, que a topografia da região permitiu que áreas contíguas sofressem diferentes níveis de impactos. Assim, o Vale do Rio Pilões tem sido relativamente protegido, em virtude da barreira física representada pela Serra do Mar e a direção predominante dos ventos ser contrária à sua área. A Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba recebe os ventos que varrem a área industrial e, em conseqüência, é atingida pelos agentes poluentes em suspensão. O Vale do Rio Moji é severamente poluído, em especial pelos materiais particulados e gases oriundos de indústrias diversas das proximidades (Klumpp *et al.* 2000a).

Dentre os vários estudos realizados, constatou-se que, dentre as plantas aparentemente tolerantes aos poluentes da região, encontravam-se espécies de Piperaceae, Urticaceae e Melastomataceae (Leitão Filho 1993). Dentre as espécies arbóreas a dominância relativa nas áreas poluídas parece ser das heliófilas, destacando-se as pertencentes às famílias Ericaceae, Moraceae e Melastomataceae, esta com maior valor de IVI (índice de valor de importância) e tendo como espécie dominante *Tibouchina pulchra* Cogn. (Pompéia 2000).

Com o aumento dos problemas ambientais, foram desenvolvidos métodos voltados para o seu monitoramento, utilizando-se, dentre outras possibilidades, plantas ou animais como bioindicadores (Ellenberg *et al.* 1991). Esses passam a apresentar reações específicas quando expostos a diferentes tipos de poluentes, fornecendo informações difíceis de serem obtidas e/ou quantificadas de outra forma (Flores 1987). Os biomonitoramentos, passivo e ativo, têm sido amplamente utilizados no Brasil nas últimas décadas para estudos diversos da qualidade do ar e efeito dos poluentes sobre as espécies vegetais (Flores 1987, Domingos *et al.* 1998, Klumpp *et al.* 2000a, b, Mazzoni-Viveiros 2000). Estudos referentes às condições edáficas em áreas sujeitas à poluição atmosférica, especialmente na Serra do Mar em regiões próximas ao complexo industrial de Cubatão, têm sido também realizados (Mayer *et al.* 2000a, b).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são organismos simbiotróficos obrigatórios que se associam às raízes da maioria das plantas fanerogâmicas terrestres (90%), sejam elas nativas ou de interesse agrícola. Nessa associação, o fungo penetra no córtex da raiz da planta, colonizando-o e aí formando estruturas densamente ramificadas, os arbúsculos. Externamente à raiz, o solo é colonizado pelas hifas, sendo explorado em maior volume e com maior eficiência do que as raízes o fazem. O micélio que explora o solo absorve água e sais minerais, particularmente P, mas também K, S, Ca, Mg dentre outros, e os transfere às plantas hospedeiras por intermédio dos arbúsculos. Em troca, a planta cede ao fungo compostos fotossintetizados, estabelecendo-se, assim, a relação mutualista (Read 1991, Morton 2001).

Estudos realizados em várias partes do mundo vêm demonstrando que os FMAs, além das relações nutricionais benéficas que conferem às plantas que os abrigam, de certa forma também participam conferindo-lhes algum tipo de proteção ou resistência a agentes causadores de estresses ambientais, como chuvas ácidas e metais pesados.

Os FMAs, por serem benéficos aos hospedeiros, exercem grande influência no restabelecimento da vegetação em áreas sob impacto ambiental, sendo estudados sob vários aspectos, como no caso de solos empobrecidos ou com déficit hídrico (Trufem 1990a, b, Trufem & Viriato 1990), poluição atmosférica e/ou chuvas ácidas (Killham & Firestone 1983, Trufem & Malatinszky 1995), metais pesados (Gildon & Tinker 1983a, b, Denny & Ridge 1992), bem como deslizamentos (Day *et al.* 1987, Habte *et al.* 1988).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as associações micorrízicas arbusculares e a morfologia do sistema radicular em indivíduos de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) - oriundos de monitoramentos ativo e passivo - visando contribuir para o melhor entendimento dos efeitos dos poluentes atmosféricos vias direta (atmosfera) e indireta (solo) e oferecendo, assim, subsídios para programas de recuperação de áreas de Mata Atlântica sob o impacto de agentes semelhantes.

Material e métodos

Foram selecionados para o estudo exemplares de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae), espécie nativa da Serra do Mar e conhecida pelo nome vulgar de “manacá-da-serra”. Essa espécie é encontrada tanto nas áreas mais protegidas da poluição como em áreas sob grande impacto,

sendo considerada como tolerante e secundária (Leitão Filho 1993, Klumpp *et al.* 1994, Klockow *et al.* 1997, Klumpp *et al.* 2000a, b, Pompéia 2000).

As áreas selecionadas para o estudo, com diferentes níveis de poluição atmosférica, foram: - Vale do Rio Pilões (23°60'S e 46°36'W), município de Cubatão, 40 a 150 metros de altitude, área a sudoeste do complexo industrial, recebendo pouca influência da poluição oriunda do mesmo; - Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba (23°46'S e 46°18'W), município de Santo André, 800 a 860 metros de altitude, localizada no alto da Serra em frente ao Vale do Rio Moji e, devido estar em local favorável à ação predominante dos ventos, é bastante atingida pelos poluentes secundários, em especial o ozônio; - Vale do Rio Moji (23°59'S e 46°25'W), município de Cubatão, 20 a 250 metros de altitude, nas proximidades de indústrias de fertilizantes, cimento e siderúrgicas e, conseqüentemente, altamente poluído por particulados, fluoretos e compostos de enxofre e nitrogênio.

As condições ambientais e os dados do solo em cada uma das áreas selecionadas se encontram descritas nas tabelas 1 a 3.

Para os biomonitoramentos foram avaliados indivíduos da espécie preexistentes nas áreas selecionadas (biomonitoramento passivo) e indivíduos jovens, envasados com solo de mata não sujeita à poluição atmosférica, introduzidos nas mesmas áreas ou submetidos à atmosfera de câmaras de topo aberto (biomonitoramento ativo) (Ellenberg *et al.* 1991, Klumpp *et al.* 2000a, b, Mazzoni-Viveiros 2000).

Para o biomonitoramento passivo foram utilizados os sistemas radiculares de indivíduos jovens de *T. pulchra*, com cerca de 30 cm de altura, coletados em fevereiro/1992 em cada uma das três áreas citadas, sendo 10 indivíduos para cada área.

No biomonitoramento ativo foram utilizados os sistemas radiculares de plantas jovens envasadas em cuja base foram acondicionadas caixas plásticas para atuarem como

reservatório de água. Para cada área foram coletados dez sistemas radiculares de plantas mantidas em suporte de alumínio, cujas laterais foram utilizadas para colocação de anteparos contra o excesso de insolação, e expostas de fevereiro a maio/1993 às diferentes condições de poluição atmosférica de cada área em estudo. Nas câmaras de topo aberto, instaladas na Reserva de Paranapiacaba e cujas plantas permaneceram expostas durante o período de junho/1993 a janeiro/1994, foram coletados dez sistemas radiculares do lote mantido em câmara com sistema de filtragem e dez para aquela sem filtragem. As condições atmosféricas das câmaras estão descritas na tabela 4, sendo que as mesmas apresentaram um acréscimo de 2,5 °C na temperatura e 18% na umidade relativa, bem como uma redução de 25% a 30% de luminosidade, em relação ao ambiente externo.

Os sistemas radiculares das plantas do biomonitoramento passivo foram retirados do solo, com o auxílio de pá de jardineiro, até 20 cm de profundidade, acondicionando-os em sacos plásticos juntamente com o solo da rizosfera e, posteriormente, mantidos sob refrigeração (4 a 8 °C) até o momento do processamento. Na coleta de amostras do biomonitoramento ativo e das câmaras de topo aberto, as plantas foram desenvasadas, sendo que os sistemas radiculares e respectivos solos da rizosfera receberam o mesmo tratamento aplicado ao biomonitoramento passivo.

Para avaliação do porcentual de colonização por fungos micorrízicos arbusculares, alíquotas de raízes de cada uma das amostras (cerca de 0,5 g) foram individualmente separadas do solo, lavadas em água corrente, fixadas em FAA 50% e, posteriormente, submetidas à coloração com fucsina ácida (Kormanik & McGraw 1982), sendo a seguir avaliadas segundo a técnica da interseção de quadrantes (Giovannetti & Mosse 1980). Esse material, quando pertinente, foi preparado entre lâmina e lamínula para observação ao microscópio fotônico.

Para o isolamento dos esporos de FMAs utilizou-se a técnica do peneiramento do solo (100 g) em via úmida

Tabela 1. Comparação dos valores médios de concentrações atmosféricas de SO₂, O₃ e NO₂, temperatura, umidade relativa⁽¹⁾ e valores médios de precipitação⁽²⁾ nos diferentes sítios experimentais: Vale do Rio Pilões (Pilões), Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba (Reserva) e Vale do Rio Moji (Moji) (Klumpp *et al.* 2000b).

Table 1. Comparison of means of SO₂, O₃ and NO₂ atmospheric concentrations, temperature, relative humidity⁽¹⁾ and means of precipitation⁽²⁾ in the experimental sites: "Vale do Rio Pilões" (Pilões), "Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba" (Reserva) and "Vale do Rio Moji" (Moji) (Klumpp *et al.* 2000b).

Sítios	Período de medição	SO ₂ (µg.m ⁻³)	O ₃ (µg.m ⁻³)	NO ₂ (µg.m ⁻³)	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Precipitação (mm)
Pilões	1991-1994	6,7	29,8	7,5	21,2	86,8	3071
Reserva	1991-1995	8,3	47,2	17,1	18,5	86,9	3368
Moji	1991-1995	18,1	27,1	24,9	22,0	85,2	2432

⁽¹⁾Dados do Projeto Brasil/Alemanha (Klockow *et al.* 1997); data from Brazil/Germany Project (Klockow *et al.* 1997)

⁽²⁾Dados da Eletropaulo e DAEE; data from "Eletropaulo" and "DAEE"

Tabela 2. Comparação dos valores médios de pH e de concentrações anuais de vários parâmetros químicos em solução de solo de amostras retiradas em diferentes profundidades (Prof.), entre 1991 e 1995, dos diferentes sítios experimentais: Vale do Rio Pilões (Pilões), Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba (Reserva) e Vale do Rio Moji (Moji) (Mayer *et al.* 2000b).

Table 2. Comparison of means of pH values and several chemical parameters annual concentration in the soil solution from samples collected at varied depths (Prof.), between 1991 and 1995, of the experimental sites: "Vale do Rio Pilões" (Pilões), "Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba" (Reserva) and "Vale do Rio Moji" (Moji) (Mayer *et al.* 2000b).

Sítios	Prof. (cm)	pH	Concentrações médias anuais ($\mu\text{eq.L}^{-1}$)												
			Ânions totais	Cátion totais	NO ₃ -N	NH ₄ -N	SO ₄ -S	K	H	Ca	Mg	Al	Na	F	Cl
Pilões	10	4.30	743	703	292	7	281	66	50	154	240	50	136	9	161
	60	4.37	462	421	69	6	239	27	42	72	134	41	99	9	145
Reserva	10	3.50	532	505	101	6	349	4	316	43	20	53	63	11	71
	60	3.59	487	400	63	6	295	2	256	19	6	82	28	11	118
Moji	10	3.47	2528	2022	976	16	1170	50	339	606	382	378	260	60	322
	60	3.57	2713	1552	940	7	1466	8	269	243	169	751	105	76	231

(Gerdemann & Nicolson 1963), seguindo-se centrifugação em sacarose 50% (v:v) para separação dos esporos (Daniels & Skipper 1982). Os esporos de FMAs foram separados sob microscópio estereoscópico, quantificados e preparados entre lâmina e lamínula, com resina à base de álcool polivinílico e lactofenol (Trappe & Schenck 1982). Tais lâminas foram observadas ao microscópio fotônico para fins de identificação (Schenck & Perez 1988).

Para a avaliação morfométrica radicular, utilizou-se o material do biomonitoramento ativo e das câmaras de topo aberto, num total de 60 para o primeiro e 18 para o segundo. No ativo, as plantas foram expostas durante três meses às condições atmosféricas de cada área, em diferentes períodos, sendo dois lotes de março a setembro de 1992 e um de maio a agosto de 1993 (período seco), além de dois lotes de outubro a maio de 1993 (período chuvoso). Nas câmaras as plantas foram expostas de junho de 1993 a janeiro de 1994. Os sistemas foram, após lavagem em água corrente, fixados em FAA 70% por 48 horas e mantidos, posteriormente, em álcool 70 °GL ou

submetidos à secagem para obtenção de peso seco. Foram determinados o comprimento e o diâmetro máximos, o número de raízes laterais lenhosas e a presença ou não da raiz principal facilmente identificada. Além disso, foi possível obter, em um dos lotes, o peso seco de cada um dos sistemas radiculares

Os dados quantitativos foram analisados estatisticamente através do Programa SPSS-PC⁺, versão 4.0. Considerou-se, para tanto, a integração dos fatores área e período do ano, aplicando-se, de acordo com a necessidade, as provas de Duncan para a comparação múltipla entre as médias. As premissas da análise de variância foram verificadas através da prova de Shapiro-Wilks para a normalidade e pela prova de Lavene para a homogeneidade. Para os agentes ativos foram considerados duas estações (chuvosa e seca) e três diferentes graus, relacionados com os níveis de poluição das áreas em estudo (Pilões, Paranapiacaba e Moji). Para as câmaras de topo aberto, considerou-se apenas uma estação com dois diferentes níveis de qualidade do ar (ar filtrado e não filtrado).

Tabela 3. Comparação das concentrações médias anuais de elementos na serapilheira, entre 1991 e 1994, dos diferentes sítios experimentais: Vale do Rio Pilões (Pilões), Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba (Reserva) e Vale do Rio Moji (Moji), (Mayer & Lopes 1997 *apud* Klockow *et al.* 1997).

Table 3. Comparison of means of annual concentrations of litterfall elements, between 1991 and 1994, of experimental sites: "Vale do Rio Pilões" (Pilões), "Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba" (Reserva) and "Vale do Rio Moji" (Moji) (Mayer & Lopes 1997 *apud* Klockow *et al.* 1997).

Sítios	Concentrações médias anuais (mg.g ⁻¹ matéria seca)											
	N	S	P	K	Ca	Mg	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Pilões	17,57	1,97	0,65	3,24	10,79	2,35	0,93	0,05	0,02	0,82	0,55	0,05
Reserva	20,32	2,06	0,95	2,22	12,95	1,79	1,53	0,04	0,02	2,09	0,36	0,05
Moji	18,91	2,19	1,03	1,59	10,89	1,23	1,60	0,04	0,01	2,71	0,15	0,04

Tabela 4. Comparação entre os valores mínimos (min.), médios (méd.) e máximos (máx.) de O₃ e SO₂ atmosférico nas câmaras de topo aberto com os valores da atmosfera local e porcentagem de exclusão desses poluentes na câmara de ar filtrado (AF = ar filtrado; ANF = ar não filtrado).

Table 4. Comparison of minimum (min.), mean (méd.) and maximum (máx.) atmospheric O₃ e SO₂ values in the open top chambers, environment atmospheric values and pollutants exclusion percentage in the filtrated air open top chamber (AF = filtrated air; ANF = no filtrated air).

	O ₃ (ppb)			SO ₂ (ppb)		
	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.
Câmara AF	4,46	5,99	7,39	0,35	1,27	2,80
Câmara ANF	17,31	19,20	21,95	0,67	3,64	5,44
Atmosfera local	18,67	21,34	23,34	3,29	4,34	4,47
Exclusão na Câmara AF (%)	65,63	71,62	80,89	67,98	80,81	89,36

Resultados e Discussão

Os resultados da diversidade de FMAs e a porcentagem de colonização das raízes de *T. pulchra* das diferentes áreas e tratamentos encontram-se apresentadas na tabela 5.

Verificou-se a ocorrência de 19 táxons de FMAs, sendo que dois deles possivelmente constituem espécies novas do gênero *Acaulospora*, que se fez representar com mais seis espécies. Seguem-se os gêneros *Glomus* Tul. & Tul. e *Scutellospora* Walker & Sanders com cinco espécies cada. O menos representado foi o gênero *Gigaspora* Gerd. & Trappe emend. Walker & Koske, com apenas uma espécie.

Os táxons verificados são de comum ocorrência em solos sob vegetação de Mata Atlântica, quer em áreas preservadas, como a Ilha do Cardoso (Trufem *et al.* 1994), quer em áreas sob impacto, como as regiões próximas a Cubatão (Trufem & Malatinsky 1995, Trufem & Viriato 1990). Como táxons menos frequentes nesse tipo de ecossistema, pode-se apenas mencionar *Glomus mosseae*, que mais caracteristicamente ocorre em solos com pH variando do neutro ao levemente alcalino (Mosse *et al.* 1981), embora se registre a ocorrência da espécie em regiões sujeitas a chuvas ácidas e com metais pesados por Gildon & Tinker (1983a, b). A espécie *Scutellospora erythroa* é mais característica de áreas arenosas, como dunas marítimas, e *S. weresubiae* tem sido menos frequentemente isolada no país (Trufem 1990a).

Ainda em relação à diversidade verificada, Hayman & Tavares (1985) e Wang *et al.* (1985) comentam que baixos valores de pH no solo favorecem a ocorrência de espécies dos gêneros *Acaulospora*, *Gigaspora* e *Scutellospora*, enquanto o gênero *Glomus* ocorre em valores de pH mais próximos da neutralidade. Os dados obtidos - ao confrontar as tabelas 2, 3 e 5 - reforçam tais afirmações para os gêneros *Acaulospora* e *Scutellospora*, enquanto *Gigaspora* teve sua ocorrência em solo menos ácido (Paranapiacaba). Quanto ao gênero *Glomus*, os resultados corroboram aqueles de Gildon & Tinker (1983a, b), estando ausente no sítio com o valor mais elevado de pH (Pilões) e presente naqueles de valores menores (Pilões, Moji).

Quando se considera quantitativamente a ocorrência de esporos, Trufem *et al.* (1994) constataram, para plantas do litoral arenoso da Ilha do Cardoso (SP), correlação positiva com a temperatura, a precipitação e a insolação, ao mesmo tempo que a maior abundância de esporos ocorreu para os gêneros *Acaulospora*, *Gigaspora* e *Scutellospora*. A maior insolação e o aumento de temperatura do solo poderiam explicar o aumento no número de esporos e maior ocorrência do gênero *Acaulospora* nos sítios de Paranapiacaba e Moji, já que muitas clareiras existem nessas áreas; porém não explicam o maior número encontrado para a câmara de ar não filtrado, onde temperatura, precipitação e insolação foram iguais àqueles da câmara de ar filtrado.

O número de esporos obtidos, de maneira geral, foi baixo quando comparado com o valor médio de 50,04 esporos.100 g⁻¹ de solo da Mata Atlântica nativa da Ilha do Cardoso (Trufem 1990a), ou com os obtidos para mesma vegetação na Bahia, onde os autores verificaram variações entre 11 a 161 esporos.100 g⁻¹ de solo (Santos & Vinha 1982).

Considerando-se o número total de espécies encontrado em cada sítio experimental, os maiores valores foram obtidos para aqueles que apresentam níveis médio e alto de poluição, assim como para as rizosferas das plantas das câmaras de ar não filtrado. Ressalta-se, ainda, que além da diversidade maior ter ocorrido nos espécimes do biomonitoramento passivo dos sítios experimentais de Paranapiacaba e Moji e nas câmaras de ar não filtrado, o número total de esporos em 100 g de solo foi crescente, acompanhando o aumento do nível de poluição atmosférica de Pilões a Moji.

A ocorrência de colonização heterogênea (hifas, arbúsculos, vesículas e/ou esporos) por FMAs em raízes da espécie foi crescente nos agentes passivos,

Tabela 5. Diversidade de espécies de FMAs e porcentagem de colonização das raízes por FMAs em indivíduos de *Tibouchina pulchra* Cogn. oriundos do biomonitoramento passivo, em diferentes áreas da Serra do Mar, e das câmaras de topo aberto (AF = ar filtrado; ANF = ar não filtrado; Pilões = Vale do Rio Pilões; Reserva = Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba; Moji = Vale do Rio Moji; + = presença; - = ausência).

Table 5. Species diversity of AMF and AMF root colonization percentage in *Tibouchina pulchra* Cogn. specimens natural of passive biomonitoring, from different Serra do Mar areas, and open top chambers (AF = filtrated air; ANF = no filtrated air; Pilões = "Vale do Rio Pilões"; Reserva = "Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba"; Moji = "Vale do Rio Moji"; + = presence; - = absence).

Táxon	Biomonitoramento passivo			Câmaras		Ocorrência do táxon (%)
	Pilões	Reserva	Moji	AF	ANF	
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	+	+	+	+	+	100
<i>A. longula</i> Spain & Schenck	-	+	+	-	+	60
<i>A. mellea</i> Spain & Sckenck	-	+	+	-	-	40
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	-	-	-	+	+	40
<i>A. spinosa</i> Walker & Trappe	-	-	-	-	+	20
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe	+	+	+	-	-	60
<i>Acaulospora</i> sp. 1	+	+	+	-	-	60
<i>Acaulospora</i> sp. 2	-	+	-	-	-	20
<i>Gigaspora gigantea</i> Nicol. & Gerd.	+	-	-	-	-	20
<i>Glomus etunicatum</i> Becker & Gerd.	-	+	-	-	+	40
<i>G. invermayum</i> Hall	-	-	-	+	+	40
<i>G. macrocarpum</i> Tul. & Tul.	-	+	-	+	+	60
<i>G. microcarpum</i> Tul. & Tul.	-	-	+	-	+	40
<i>G. mosseae</i> (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe	-	-	-	+	+	40
<i>Scutellospora erythropha</i> (Koske & Walker) Walker	-	-	-	-	+	20
<i>S. heterogama</i> (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders	-	-	-	+	+	40
<i>S. persica</i> (Koske & Walker) Walker & Sanders	-	-	+	-	-	20
<i>S. verrucosa</i> (Koske & Walker) Walker & Sanders	-	-	-	+	-	20
<i>S. weresubuiae</i> Koske & Walker	-	-	-	+	-	20
Total de táxons	4	8	7	8	11	
Nº total de esporos em 100 g solo	7	32	40			
	Colonização (%)					
Biomonitoramento passivo	37	44	50			
Biomonitoramento ativo	25	55	25	23	30	

acompanhando o aumento do nível de poluição, da mesma forma que nas câmaras de topo aberto, onde a maior colonização foi obtida naquela de ar não filtrado. Nos agentes ativos, no entanto, o maior grau foi observado no sítio medianamente poluído de Paranapiacaba.

Levando-se em consideração os elementos químicos dos solos de cada sítio experimental (tabelas 2, 3), os menores valores de pH, bem como altas concentrações de Al, S, Fe, Ca, Mg, C, N e ânions e cátions totais, ocorrem nos sítios experimentais com os maiores índices de poluição atmosférica (Reserva e

Moji), principalmente quando se analisa a dinâmica de tais elementos na solução de solo, levando-se em conta sua importação e exportação (Mayer *et al.* 2000a, b).

As micorrizas conferem à planta hospedeira vantagens, como aumento da capacidade de absorção de água e íons e transporte de micro e macronutrientes via hifas que interligam as plantas infectadas (Duin *et al.* 1991). A micorrização é inibida, geralmente, em condições de elevada fertilidade, sendo que dentre os macronutrientes são o nitrogênio (N) e o fósforo (P) que exercem maior influência; tais elementos agem indiretamente via metabolismo da planta hospedeira,

estabelecendo mecanismo de auto-regulação. Devido ao fato das raízes, na mata, se desenvolverem de modo muito emaranhado, sugeriu-se que a colonização de raízes por hifas seria, nesse caso, mais eficiente para a garantia do fluxo de nutrientes (Francis *et al.* 1986).

A associação micorrízica atinge seu máximo de eficiência quando a concentração de fósforo (P) no solo aumenta e a troca de nutrientes entre o fungo e a planta hospedeira atinge um nível ótimo (Schubert & Hayman 1986). Em solos ricos, as raízes podem suprir a planta com fósforo sem a necessidade desse tipo de associação, sendo que em solos com níveis muito altos de fósforo tal associação pode ser baixa (Duin *et al.* 1991).

Leitão Filho (1993) afirma que, apesar do solo do sítio experimental do Vale do Rio Moji apresentar maior quantidade de fósforo total, a quantidade disponível de tal elemento é inferior àquela do Vale do Rio Pilões. Domingos *et al.* (2000) e Mayer *et al.* (2000a, b) apresentam resultados para os mesmos sítios experimentais do presente trabalho, onde ressaltam a alta acidez da solução do solo do Vale do Rio Moji, concentrações elevadas de alumínio, sulfato, nitrato, fluoreto e cálcio, além do fato de haver intenso processo de intemperização do solo, pela ação de ácidos e substâncias acidificantes, como SO_4 e F. Tal processo causa liberação do Al dos minerais do solo, promovendo a dissolução do Ca e Mg, depositados como particulados, e a liberação de NO_3 , resultando em níveis críticos de elementos nutricionais na zona radicular. Tais aspectos, como baixa disponibilidade de fósforo e de nutrientes, explicariam a maior porcentagem de associação na área mais poluída do Vale do Rio Moji.

Os dados, de maneira geral, sugerem aumento no número de esporos e na diversidade de espécies no solo em áreas sob o impacto da poluição atmosférica para o ecossistema em questão, confirmando os dados obtidos por Vilariño *et al.* (1992), que ressaltam a ocorrência do aumento de esporulação nos casos em que a parte aérea da planta hospedeira se encontra estressada. Confirmam, também, os dados obtidos por Trufem & Malatinsky (1995) que afirmam que as espécies de Melastomataceae apresentam fatores que predisõem os FMAs de suas rizosferas a apresentarem esporulação mais abundante em área submetida à poluição atmosférica, do que as verificadas em plantas de outras famílias botânicas da mesma área.

Alguns estudos apontam para o fato que os FMAs podem causar aumento no teor de metais pesados nas plantas hospedeiras (Killham & Firestone 1983), enquanto outros demonstram que tais fungos podem conferir maior grau de tolerância da planta aos metais

(Koslowsky & Boerner 1989). O aumento de colonização na rizosfera de *Tibouchina pulchra*, em áreas mais afetadas pela ação dos poluentes atmosféricos, confirma as suspeitas de que a associação micorrízica pode atuar no decréscimo dos efeitos fitotóxicos dos metais no interior da planta (Schüepp *et al.* 1987), já que, segundo Leitão Filho (1993), a espécie é a que apresenta os maiores valores para os parâmetros fitossociológicos da área, como IVI (índice do valor de importância) e IVC (índice do valor de cobertura). Tal associação parece ser, portanto, muito importante para a revegetação de áreas degradadas.

Segundo Koske & Halvorson (1981) e Koske (1987), os FMAs desempenham importante papel no estabelecimento e no processo de sucessão vegetal em dunas, já que aumentam a capacidade de absorção de nutrientes e de água pelas raízes, além de contribuírem para melhor estabilização do substrato. Considerando o exposto por Leitão Filho (1993), segundo o qual o Vale do Rio Moji apresenta evidente desequilíbrio ecológico, fazendo com que o processo de sucessão não se complete e volte ciclicamente para os seus estádios iniciais, e o fato de nesse sítio experimental ter ocorrido a maior quantidade de esporos (tabela 5), sugere-se que também na mata tais fungos estejam procurando desempenhar seu papel no processo sucessional.

Comparando-se os resultados obtidos no presente trabalho com aqueles obtidos por Trufem (1990a) para as rizosferas do gênero *Tibouchina* na vegetação da Ilha do Cardoso, pode-se afirmar que a diversidade foi maior em dois (Pilões e Moji) dos três sítios experimentais do presente estudo, já que naquela região somente cinco espécies pertencentes a três gêneros foram encontradas (*Acaulospora*, *Sclerocystis* e *Glomus*). Considerando-se o exposto por Giovannetti & Gianinazzi-Pearson (1994), que afirmam que a conservação e utilização eficiente da biodiversidade do grupo de fungos responsáveis pela formação de micorrizas arbusculares é fator indispensável para a sustentabilidade da estrutura da comunidade vegetal, acredita-se que tais sítios ainda se encontram com nível adequado de biodiversidade dos FMAs e, portanto, sob esse ponto de vista, com capacidade de participarem no processo de revegetação.

O comprimento máximo apresentado pelo sistema radicular (tabela 6) evidenciou valores médios maiores na estação seca para todos os sítios experimentais, enquanto na chuvosa o menor valor foi para o sítio com maior nível de poluição, o Vale do Rio Moji, com diferenças significativas. Para as plantas das câmaras de topo aberto, no entanto, a maior média ocorreu para

Tabela 6. Valores mínimos (min.), médios (méd.) e máximos (máx.) para os dados referentes ao sistema radicular dos espécimes do biomonitoramento ativo e das câmaras de topo aberto. Resultados da análise de variância pela prova de Duncan na comparação entre os diferentes ambientes, os diferentes graus de poluição nas épocas chuvosa e seca e os diferentes graus de poluição nas câmaras. (RP = Vale do Rio Pilões; PP = Reserva de Paranapiacaba; VM = Vale do Rio Moji; AF = ar filtrado; ANF = ar não filtrado; EC = época chuvosa; ES = época seca; (1) = nível baixo de poluição; (2) = nível médio de poluição; (3) = nível alto poluição; p = probabilidade de erro; s = significativo; ns = não significativo; # = difere de forma significativa; + = resultado obtido).

Table 6. Minimum (min.), mean (méd.) and maximum (máx.) values for root system references data from active biomonitoring and open top chambers specimens. Duncan test results comparing the different environments, the varied loads of air pollution at rainy and dry periods and the varied loads of air pollution in the open top chambers. (RP = "Vale do Rio Pilões"; PP = "Reserva de Paranapiacaba"; VM = "Vale do Rio Moji"; AF = filtrated air; ANF = no filtrated air; EC = rainy period; ES = dry period; (1) = pollution low load; (2) = pollution mean load; (3) = pollution high load; p = error probability; s = significative; ns = no significative; # = significative difference; + = result obtained).

	Comprimento máximo (cm)			Número de raízes			Matéria seca (g)			Diâmetro máximo		
	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.	min.	méd.	máx.
Biomonitoramento Ativo												
RP (1) EC	17,00	31,60	47,00	06	11	15	2,17	3,90	6,26	4,50	7,15	9,00
RP (1) ES	31,00	46,30	60,00	04	10	17	2,12	3,81	5,15	3,50	6,85	14,00
PP (2) EC	18,00	34,20	45,00	05	09	13	1,74	3,37	5,23	6,00	8,05	11,50
PP (2) ES	32,00	38,80	48,00	05	07	10	1,34	3,76	5,88	3,50	6,35	10,00
VM (3) EC	22,00	30,70	42,00	07	10	14	2,14	3,34	5,68	5,50	8,85	13,00
VM (3) ES	29,00	40,00	50,00	05	07	10	1,07	3,74	12,03	5,00	7,05	11,00
Câmaras (C)												
AF	19,50	36,06	47,00	06	11	15	4,64	14,26	23,03	12,00	14,05	16,50
ANF	20,00	42,50	70,00	08	14	21	6,27	10,68	13,91	11,00	12,38	15,00
Comparação entre os ambientes												
S	EC # C / EC # ES			EC # ES # C			C # EC / C # ES			EC # C / ES # C		
ns												
P	0,0004			0,0000			0,0000			0,0000		
Comparação entre diferentes graus de poluição – época chuvosa												
S												
ns	+			+			+			+		
P	0,66			0,16			0,41			0,90		
Comparação entre diferentes graus de poluição – época seca												
S	RP # PP / RP # VM											
ns				+			+			+		
p	0,04			0,79			0,06			1,00		
Comparação entre diferentes graus de poluição – câmaras												
s				AF # ANF								
ns	+						+			+		
p	0,29			0,00			0,11			0,10		

as da câmara de ar não filtrado. Ressalta-se, ainda, que a maior diferença entre o valor mínimo e o máximo ocorreu nas plantas da câmara de ar não filtrado. Pela análise realizada observa-se que tal fator apresentou variação significativa nos agentes ativos, quando os diferentes graus de poluição foram considerados na estação seca, ou seja, o comprimento da raiz na área

menos poluída diferiu dos outros dois sítios mais poluídos, apresentando valores maiores naquele menos poluído do Vale do Rio Pilões. Outra variação significativa ocorreu quando foi efetuada a comparação entre período chuvoso × período seco × câmaras, sendo que neste caso os dados obtidos para a estação chuvosa diferem significativamente daqueles da estação seca e das

câmaras, com valores sempre superiores nas plantas das câmaras.

O número de raízes laterais lenhosas do sistema radicular atingiu médias mais elevadas no sítio de Pilões e na câmara de ar não filtrado, sendo que os menores valores foram obtidos no sítio com o nível médio de poluição, o da Reserva do Alto da Serra de Paranapiacaba, e na câmara de ar filtrado. A maior diferença entre o valor mínimo e máximo encontrado para tal fator ocorreu na câmara de ar não filtrado e na estação seca no sítio de Pilões. A análise apresentou variação significativa entre a câmara de ar filtrado e não filtrado, com valores maiores nessa última. Quando somente os ambientes foram considerados houve variação significativa entre os dados nas estações chuvosa e seca e, também, nas câmaras. Não houve nenhuma variação significativa, porém, quando os diferentes graus de poluição foram comparados.

O peso da matéria seca (PS) do sistema radicular apresentou valores médios menores, tanto na estação chuvosa como na seca, para o sítio de Moji. Nas câmaras de topo aberto a menor média ocorreu na de ar não filtrado. As maiores diferenças entre os valores mínimos e máximos ocorreram na estação seca no sítio de Moji e na câmara de ar filtrado. A análise multivariada/estatística apontou variação significativa apenas quando os diferentes ambientes foram considerados, ou seja, os valores das câmaras diferem significativamente daqueles das estações chuvosa e seca dos agentes ativos.

Em relação ao diâmetro máximo do sistema radicular, as maiores médias ocorreram na estação chuvosa nos sítios de Pilões e Moji e na câmara de ar filtrado, enquanto na estação seca os menores valores ocorreram no sítio de Paranapiacaba. A diferença maior apresentada entre os valores mínimos e máximos ocorreu na estação seca do sítio de Pilões e a menor nas câmaras de topo aberto. A análise indicou variação significativa somente entre os ambientes, ou seja, os valores das câmaras diferem significativamente daqueles da estação chuvosa e da seca dos agentes ativos, sendo que os diferentes graus de poluição dos tratamentos não diferem entre si.

Quanto ao aspecto morfológico encontrado nos sistemas radiculares dos agentes ativos e das plantas das câmaras de topo aberto, observou-se variação nas formas apresentadas dentro do mesmo sítio experimental e notou-se que nos diferentes lotes, tanto no período chuvoso como no período seco, a presença de raízes finas é maior nos agentes ativos dos sítios de Pilões e Moji. O mesmo ocorreu para os sistemas radiculares das plantas da câmara de ar não filtrado, dificultando,

inclusive, a visualização das raízes mais internas. Essa variação de formas apresentada nos sistemas radicular em cada caso pode estar relacionada à grande produção de raízes finas, uma vez que as mesmas têm sido consideradas as responsáveis por crescimentos desordenados do sistema radicular (Vavoulidou-Theodorou & Babel 1986).

Correlacionando tais dados com aqueles já descritos para os FMAs, sabe-se que a morfologia da raiz afeta tal associação, bem como a taxa de mortalidade da raiz influencia a heterogeneidade na formação da micorriza, sendo que a morte gradual da raiz estimula a esporulação, enquanto a morte repentina estimula a formação de hifas (Abbott *et al.* 1992, Janos 1992). Para que a associação se estabeleça, inclusive, é importante que as raízes finas apresentem o meristema apical íntegro, sendo que uma vez estabelecida a associação esta pode, também, estimular a formação de raízes curtas (Blaschke 1986). Blasius *et al.* (1985) chegam a propor que se procure relacionar a densidade de ramificação com a frequência da associação micorrízica.

Considerando a maior ocorrência de colonização por hifas e o maior número de esporos no solo do sítio de Moji, parece haver perfeita integração de tais resultados com o aspecto apresentado pelo sistema radicular, com maior número de raízes finas. A grande quantidade de esporulação pode, inclusive, estar relacionada à morte gradual das raízes, que pode ser esperada pela ação do solo de área extremamente afetada pela poluição. O fato, ainda, de existir heterogeneidade na forma de colonização (hifas, vesículas, arbúsculos e esporos) pode refletir na taxa de mortalidade da raiz, como exposto por Janos (1992), podendo, inclusive, ser o fator causador do aumento de diâmetro do sistema radicular, tendência observada nas áreas mais poluídas (tabela 6).

A maior quantidade de raízes finas pode estar relacionada com as necessidades nutricionais da planta, já que tais raízes são as maiores responsáveis pelo suprimento de nitrogênio em angiospermas arbóreas (McLaugherty *et al.* 1982). Pode, ainda, estar relacionado com a acidificação do solo, já que em solos fortemente ácidos há aumento da taxa de mortalidade nas raízes mais grossas, sendo que a proporção de raízes vivas e mortas está relacionada à relação Ca/Al no interior da raiz, esta bem menor no solo e na água de solo nas áreas poluídas consideradas, conforme tabela 2 (Puhe *et al.* 1986).

Os dados demonstram que há aumento da colonização micorrízica arbuscular e maiores

diversidade e abundância de espécies de FMAs sob solos ácidos em indivíduos da espécie *T. pulchra* sujeitos à poluição atmosférica. Evidenciou-se, também, tendência de redução do desenvolvimento de raízes lenhosas e aumento da quantidade de raízes finas (não lenhosas). Tais resultados reafirmam ser a espécie tolerante aos poluentes, com tolerância reduzida quando a ação de tais poluentes ocorre pelas vias aérea e edáfica. O uso, portanto, da espécie em reflorestamento de áreas de mata atlântica degradadas deve incluir medidas de recuperação do solo para que sejam bem sucedidas.

Referências bibliográficas

- ABBOTT, L.K., ROBSON, A.D., JASPER, D.A. & GAZEY, C. 1992. What is the role of VA mycorrhizal hyphae in soil? *In Mycorrhizas in ecosystems* (D.J. Read, D.H. Lewis, A.H. Fitter & I.J. Alexander, eds.). C.B.A. International, Cambridge, p.37-41.
- AB'SABER, A. 1987. A Serra do Mar na região de Cubatão: avalanches de janeiro de 1985. A ruptura do equilíbrio ecológico na Serra de Paranapiacaba e a poluição industrial. *Aciesp* 54:74-116.
- BLASCHKE, H. 1986. Studies on the developemnt mycorrhizal fine roots of Norway spruce in declining forests. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 105:477-487
- BLASIUS, D., KOTTKE, I. & OBERWINKLER, F. 1985. Quality assessment of spruce roots from damage stands. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 104:318-325.
- DANIELS, B.A. & SKIPPER, H.D. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. *In Methods and principles of mycorrhizal research* (N.C. Schenck, ed.). The American Phytopathological Society, St. Paul, p.29-35.
- DAY, L.D., SYLVIA, D.M. & COLLINS, M.E. 1987. Interactions among vesicular arbuscular mycorrhizas, soil and landscape position. *Soil Science Society American Journal* 51:635-639.
- DENNY, H. & RIDGE, I. 1992. Mycorrhizal amelioration of metal toxicity to plants. *In Mycorrhizas in ecosystems* (D.J. Read, D.H. Lewis, A.H. Fitter & I.J. Alexander, eds.). C.B.A. International, Cambridge, p.376.
- DOMINGOS, M., KLUMPP, A. & KLUMPP, G. 1998. Air pollutants impact on the Atlantic forest in the Cubatão region, São Paulo, Brazil. *Ciência e Cultura* 50:230-236.
- DOMINGOS, M., LOPES, M.I.M.S. & STRUFFALDI-DEVUONO, Y. 2000. Nutrient cycling disturbance in Atlantic Forest sites affected by air pollution coming from the industrial complex of Cubatão, Southeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 23:77-85.
- DUIN, W.E. VAN, GRIFFIOEN, W.A.J. & IETSWAART, J.H. 1991. Occurrence and function of micorrhiza in environmentally stressed soils. *In Ecological responses to environmental stresses* (J. Rozema & J.A.C. Verkleij, eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p.114-123.
- ELLENBERG, H., ARNDT, U., BRETTHAUER, R., RUTHSATZ, B. & STEUBING, L. 1991. Biological monitoring: signals from the environment. *Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - Gate*, Eschborn.
- FLORES, F.E.V. 1987. O uso de plantas como bioindicadores de poluição no ambiente urbano-industrial: experiências em Porto Alegre, RS, Brasil. *Tübinger Geographische Studien* 96:79-86
- FRANCIS, R., FINLAY, R.D. & READ, D.J. 1986. Vesicular arbuscular mycorrhizas in natural vegetation systems. IV. Transfer of nutrients in inter and intra-specific combinations of host plants. *New Phytologist* 102:103-111.
- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46:235-244.
- GILDON, A. & TINKER, P.B. 1983a. Interactions of VAM infection and heavy metal in plants. I. Effects of heavy metals on development of VAM. *New Phytologist* 93:241-261.
- GILDON, A. & TINKER, P.B. 1983b. Interactions of VAM infection and heavy metal in plants. II. The effects of infection on uptake of copper. *New Phytologist* 93:263-268.
- GIOVANNETTI, M. & GIANINAZZI-PEARSON, V. 1994. Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycology Research* 98:705-715.
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytologist* 84:489-500.
- HABTE, M., FOX, R.L., AZIZ, T. & EL-SWAIFY, A. 1988. Interaction of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi with erosion in an oxisol. *Applied and Environmental Microbiology* 54:945-950.
- HAYMAN, D.S. & TAVARES, M. 1985. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza: XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytologist* 100:367-377.
- JANOS, D.P. 1992. Heterogeneity and scale in tropical vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *In Mycorrhizas in ecosystems* (D.J. Read, D.H. Lewis, A.H. Fitter & I.J. Alexander, eds.). C.B.A. International, Cambridge, p.276-282.
- KILLHAM, K. & FIRESTONE, M.K. 1983. Vesicular arbuscular mycorrhizal mediation of grass response to acidic and heavy metals depositions. *Plant Soil* 72:39-48.

- KLOCKOW, D., TARGA, H. & VAUTZ, W. (eds.). 1997. Air pollution and vegetation damage in the tropics – the Serra do Mar as an example, Final Report, Secretaria do Meio Ambiente/Geesthacht GKSS, São Paulo/Dortmund.
- 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* 85:109-116.
- KLUMPP, A., DOMINGOS, M. & PIGNATA, M.L. 2000a. Air pollution and vegetation damage in South America – state of knowledge and perspectives. *In* *Environmental Pollution and plant responses* (S.B. Agrawal & M. Agrawal, eds.). Lewis Publishers, Boca Raton, p.111-136.
- KLUMPP, G., FURLAN, C.M., DOMINGOS, M. & KLUMPP, A. 2000b. Response of stress indicators and growth parameters of *Tibouchina pulchra* Cogn. exposed to air and soil pollution near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *The Science of the Total Environment* 246:79-91.
- KORMANIK, P.P. & MCGRAW, A.C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. *In* *Methods and principles of mycorrhizal research*. (N.C. Schenck, ed.). The American Phytopathological Society, St. Paul, p.37-45.
- KOSKE, R.E. 1987. Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhiza, fungi along a latitudinal temperature gradient. *Mycologia* 79:55-68.
- KOSKE, R.E. & HALVORSON, W.L. 1981. Ecological studies of vesicular arbuscular mycorrhiz in a barrier sand dune. *Canadian Journal of Botany* 59:1413-1422.
- KOSLOWSKY, D.D. & BOERNER, R.E.J. 1989. Interactive effects of aluminum, phosphorus, and mycorrhizae on growth and nutrient uptake of *Panicum virgatum* L. (Poaceae). *Environmental Pollution* 61:105-125.
- LEITÃO FILHO, H.F. (ed.). 1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. Ed. Unesp/Ed. Unicamp, São Paulo, Campinas.
- MAYER, R., LIESS, S., LOPES, M.I.M.S. & KREUTZER, K. 2000a. Atmospheric pollution in a tropical rain forest: effects of deposition upon biosphere and hydrosphere. I. Concentrations of chemicals. *Water, Air, and Soil Pollution* 121:59-78.
- MAYER, R., LIESS, S., LOPES, M.I.M.S. & KREUTZER, K. 2000b. Atmospheric pollution in a tropical rain forest: effects of deposition upon biosphere and hydrosphere. II. Fluxes of chemicals and element budgets. *Water, Air, and Soil Pollution* 121:79-92.
- MAZZONI-VIVEIROS, S.C. 2000. Diversificação do uso da anatomia: poluição atmosférica na Mata Atlântica. *In* *Tópicos atuais em Botânica* (T.B. Cavalcanti & B.M.T. Walter, eds.). Embrapa/Sociedade Botânica do Brasil, Brasília, p.101-106.
- MCLAUGHERTY, C.A., ABER, J.D. & MELILLO, J.M. 1982. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology* 63:1481-1490.
- MORTON, J. 2001. <http://www.invam.caf.wvu.edu>. (acesso em 02/2001).
- MOSSE, B., STRIBLEY, D.P. & LE TACON, F. 1981. Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *Advances in Microbiology Ecology* 5:137-210.
- POMPÉIA, S.L. 2000. Resposta das plantas nativas brasileiras à poluição. *In* *Ecofisiologia Vegetal* (W. Larcher, ed.). Editora Rima, São Carlos, p.449-454.
- PUHE, J., PERSSON, H. & BOERJESSON, I. 1986. Root growth and root damages in Scandinavian coniferous forests. *Allgemeine Forstzeitschrift* 41:488-492.
- READ, D.J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia* 47:376-391.
- SANTOS, O.M. & VINHA, S.O. 1982. Ocorrência de micorrizas em árvores nativas do sul da Bahia. 1. Estação Ecológica do pau-brasil. *Theobroma* 12:261-265.
- SCHENCK, N.C. & PEREZ, Y. 1988. Manual for the identification of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. INVAM/University of Florida, Gainesville.
- SCHUBERT, A. & HAYMAN, D.S. 1986. Plant growth responses to MVA: XVI. Effectiveness of different endophytes at different levels of soil phosphate. *New Phytologist* 103:79-90.
- SCHÜEPP, H., DEHN, B. & STICHER, H. 1987. VA mycorrhiza and heavy metal stress. *Angewandte Botanik* 61:85-96.
- SMA. 1990. *The Rain-Forest of the Serra do Mar: degradation and reconstitution*. Documents Series, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- TRAPPE, J.M. & SCHENCK, N.C. 1982. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonales). *In* *Methods and principles of mycorrhizal research* (N.C. Schenck, ed.). The American Phytopathological Society, St. Paul, p.1-21.
- TRUFEM, S.F.B. 1990a. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares da mata tropical úmida da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 4:31-45.
- TRUFEM, S.F.B. 1990b. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em ecossistema de duna do parque Estadual da Ilha do Cardoso, São Paulo, Brasil. *Aciesp* 3:478-497.
- TRUFEM, S.F.B. & MALATINSKY, S.M.M. 1995. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares de Melastomataceae e outras plantas resistentes e sensíveis à poluição na Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, SP, Brasil. *Hoehnea* 22:79-91.
- TRUFEM, S.F.B. & VIRIATO, A. 1990. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares da Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 13:49-54.
- TRUFEM, S.F.B., MALATINSKY, S.M.M. & OTOMO, H.S. 1994. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de plantas do litoral arenoso do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. 2. *Acta Botanica Brasilica* 8:219-229.
- VAVOULIDOU-THEODOROU, E. & BABEL, V. 1987. On root production in forests: methods and results. *Allgemeine Forst-und Jagdzeitung* 157:232-238.

- VILARIÑO, A., ARINES, J. & SCHÜEPP, H. 1992. Propagule production by VA fungi in red clover plants subjected to periodic removal of the aerial parts. *In* Mycorrhizas in ecosystems (D.J. Read, D.H. Lewis, A.H. Fitter & I.J. Alexander, eds.). C.B.A. International, Cambridge, p.407.
- WANG, G., STRIBLEY, D.P., TINKER, P.B. & WANG, C. 1985. Soil pH and vesicular-arbuscular mycorrhizas. *In* Ecological interactions in soil: plants, microbes and animals (A.H. Fitter, ed.). Blackwell, Oxford, p.219-224.