

CRISTIANE PEREIRA SANTOS

Anatomia do lenho de *Tibouchina pulchra* Cogn. e
Miconia cinnamomifolia (DC.) Naud.
(Melastomataceae) como registro temporal da poluição
atmosférica proveniente do complexo industrial de
Cubatão

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO
2005

CRISTIANE PEREIRA SANTOS

Anatomia do lenho de *Tibouchina pulchra* Cogn. e
Miconia cinnamomifolia (DC.) Naud.
(Melastomataceae) como registro temporal da poluição
atmosférica proveniente do complexo industrial de
Cubatão

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

ORIENTADORA: DRA. SOLANGE CRISTINA MAZZONI-VIVEIROS

Ficha Catalográfica elaborada pela Seção de Biblioteca do Instituto de Botânica

Santos, Cristiane Pereira

S231e Anatomia do lenho de *Tibouchina pulchra* Cogn. e *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naud (Melastomataceae) como registro temporal da poluição atmosférica proveniente do complexo industrial de Cubatão/ Cristiane Pereira Santos -- São Paulo, 2005.
117 p. il.

Dissertação (mestrado)—Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2005
Bibliografia.

1. Anatomia da madeira. 2. Poluição. 3. Plasticidade Fenotípica. I. Título

CDU 634.0.811

*Este trabalho é dedicado às pessoas
que eu mais amo: Catarino,
Francisca e Silvio.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Instituto de Botânica e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pela oportunidade em realizar o mestrado e ao CNPQ pela bolsa concedida.

Muito obrigada a Solange, minha orientadora, por toda a sua atenção, carinho, paciência e profissionalismo.

Agradeço a todas as funcionárias da Seção de Anatomia e Morfologia do Instituto de Botânica – Agnes, Edenise e Maria, além da minha orientadora - e aos estagiários – a Renata em especial - que fizeram parte da minha vida nestes últimos anos.

Muito obrigada a Maria Amélia, Lúcia Rossi, Cecília e também a todos os demais funcionários, estagiários e pós-graduandos que acabei conhecendo no Instituto de Botânica.

Muito obrigada a todos os professores que me deram aulas durante o mestrado e que passaram para mim, assim como para os demais alunos, um pouco do seu vasto conhecimento científico.

Agradeço a Deus, por ter me dado a vida, a saúde, a determinação e a força para que eu conseguisse realizar este trabalho. Agradeço também por Ele ter me conduzido a pais tão especiais para a minha vida.

Agradeço a meu pai, minha mãe e ao Silvio por todo o carinho, atenção e compreensão, primordiais para a concretização deste trabalho.

Muito obrigada a Ellen, Priscila, Evelyn e Leandro, por fazerem parte da minha vida – é uma honra tê-los como irmãos.

Agradeço a Nice, que me deu apoio e energia positiva para persistir.

ÍNDICE

I) INTRODUÇÃO	01
I.1) MATA ATLÂNTICA	01
I.1.1) Impactos na vegetação da Serra do Mar localizada no Estado de São Paulo	02
I.1.2) A poluição atmosférica e a cidade de Cubatão	06
I.2) BIOMONITORAMENTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	12
I.3) O ESTUDO ANATÔMICO DO LENHO	13
I.3.1) Estudos em anatomia ecológica do lenho	14
I.3.2) Descrição do lenho na família Melastomataceae	25
I.3.3) Plasticidade fenotípica	27
II) OBJETIVOS	30
III) MATERIAL E MÉTODOS	31
III.1) MATERIAL	31
III.2) CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	34
III.2.1) Vale do Rio Pilões	34
III.2.2) Vale do Rio Moji	35
III.2.3) Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba	37
III.2.4) Poluição atmosférica em 1990 e 2002	39
III.3) MÉTODOS	40
III.3.1) Microscopia fotônica	40
III.3.1a) Confecção de lâminas histológicas	40
III.3.1b) Medições dos elementos celulares	41
III.3.1c) Obtenção de ilustrações	42
III.3.2) Microscopia eletrônica de varredura	42
III.3.3) Processamento dos dados e análises estatísticas	42
IV) RESULTADOS	44
IV.1) LENHO DE <i>MICONIA CINNAMOMIFOLIA</i> (DC.) NAUD.....	44
IV.2) COMPARAÇÃO DOS DADOS NAS ESPÉCIES ESTUDADAS	45
IV.3) FIGURAS	54
V) DISCUSSÃO	81
V.1) LENHO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS NAS DIFERENTES ÁREAS	81
V.2) LENHO DE <i>TIBOUCHINA PULCHRA</i> COGN.....	90
V.2.1) Área controle - coletas 1990 e 2003	90

V.2.2) Área poluída - coletas 1990 e 2003	91
V.2.3) Paranapiacaba - coletas 1990 e 2003	92
V.3) PLASTICIDADE FENOTÍPICA NO LENHO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	94
VI) CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
VII) RESUMO	100
VIII) ABSTRACT	102
IX) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

I) INTRODUÇÃO

I.1) MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica corresponde a um complexo de formações florestais associadas ao relevo escarpado que aflora ao longo da costa brasileira, desde o nordeste até a região sul do país. Situa-se, em geral, em encostas que favorecem a penetração da luz difusa em seu interior. Essa característica associada à forte influência oceânica, às condições climáticas e ecológicas, além da riqueza geomorfológica, favorecem o desenvolvimento de uma flora exuberante que, por sua vez, propicia a manutenção de uma fantástica diversidade faunística (Joly *et al.* 1991, SOS Mata Atlântica 1991, Sylvestre & Rosa 2002, Mantovani 2003).

A Mata Atlântica é extremamente complexa em sua estrutura vertical, sendo composta por muitas espécies de líquens, musgos, pteridófitas e ervas no solo; arbustos, arvoretas e palmeiras no seu interior; lianas e epífitas, entre as quais muitas espécies de bromeliáceas, orquidáceas, gesneriáceas e pteridófitas, que recobrem a maioria das árvores de grande porte (Mantovani 2003). As árvores de grande porte, por sua vez, podem alcançar até 40 metros de altura (Rizzini 1997).

O endemismo é elevado, ao nível de 55% para espécies arbóreas e 40% para famílias de espécies não-arbóreas. No caso de palmeiras e bromélias esse percentual sobe para duas em cada três espécies (Joly *et al.* 1991, Sylvestre & Rosa 2002).

Pelo fato da Mata Atlântica recobrir, naturalmente, grandes extensões solos de boa qualidade para a agricultura e a pecuária, além de possuir espécies vegetais de alto valor comercial, ela se torna condenada ao desmatamento e à degeneração (Câmara 1992, *apud* Sylvestre & Rosa 2002). Tanto o estrativismo, que teve seu início com a exploração do pau-brasil expandindo-se, posteriormente, para outras madeiras e exploração de palmito e xaxim, bem como a expansão da cultura da cana de açúcar, café, cacau e banana, assim como a agricultura de subsistência e a especulação imobiliária, podem ser apontados como as principais causas da drástica redução da Mata Atlântica (Joly *et al.* 1991, Mantovani 2003).

Não existem dados efetivamente confiáveis da superfície total remanescente; autores divergem quanto a este valor, que está entre 5% e 15%. Os resíduos florestais, muitas vezes, correspondem a pequenos fragmentos disjuntos e floristicamente empobrecidos. Portanto, embora considerada uma das regiões de maior biodiversidade do planeta, a Mata Atlântica é, paradoxalmente, uma das mais ameaçadas (Sylvestre & Rosa 2002).

Atualmente, é na região da Serra do Mar, localizada nos Estados de São Paulo e Paraná, que ocorre grande parte dos melhores e mais preservados remanescentes de Mata Atlântica. É nessa região, também, que há a maior diversidade florística e o maior trecho contínuo dessa formação florestal (Joly *et al.* 1991, Leitão Filho 1993, Sylvestre & Rosa 2002, Mantovani 2003).

I.1.1) Impactos na vegetação da Serra do Mar localizada no Estado de São Paulo

Apesar da vegetação presente na Serra do Mar do Estado de São Paulo estar em boas condições, em relação a outras porções da Mata Atlântica, ela tem sido, direta ou indiretamente, agredida por estresses provocados pela ação humana.

O estresse na comunidade florestal tem sido definido como um fator ambiental, biótico ou abiótico, que reduz a taxa de alguns processos fisiológicos abaixo da taxa máxima que as plantas, em outras condições, poderiam manter (Lambers *et al.* 1998).

A resposta imediata de uma planta ao estresse é a redução do seu desempenho. As plantas compensam os efeitos deletérios do estresse por meio de muitos mecanismos, que são as respostas compensatórias. Essas ocorrem em diferentes escalas do tempo, dependendo da natureza do estresse e dos processos fisiológicos que são afetados (Lambers *et al.* 1998).

É denominado estado de tensão elástico aquele cujas modificações físicas ou químicas causadas pelo estresse são reversíveis, enquanto que estado de tensão plástico, ou injúria, corresponde

àquele em que as modificações são irreversíveis. Portanto, os organismos podem apresentar dois tipos de resistência ao estresse: elástica ou plástica (Levitt 1980).

Desde o início da colonização do nosso país, a porção de Mata Atlântica localizada na Serra do Mar, em São Paulo, vem sofrendo impactos. Durante os séculos XVI e XVII, os principais agentes estressores foram o desenvolvimento de culturas de subsistência e o extrativismo, além da cultura de cana-de-açúcar na Baixada Santista. No século XVIII ocorreu a intensificação da cultura da cana-de-açúcar e, também, algumas construções. Os eventos citados acima ocasionaram pequenos desmatamentos e extrativismo na Mata Atlântica (Pompéia *et al.* 1990, *apud* SMA 1990).

Posteriormente, no século XIX, houve a construção de estradas, da Ferrovia Santos-Jundiaí, expansão de áreas agrícolas e início da atividade industrial devido à construção de engenhos, olarias e curtumes. Com isso, além da intensificação do desmatamento, houve também a extração de madeiras para a produção de carvão (Pompéia *et al.* 1990, *apud* SMA 1990).

No período de 1900 a 1950 houve a construção da Ferrovia Sorocabana, no Vale de Cubatão, o cultivo de extensas áreas de bananais e a instalação de algumas fábricas; acarretando intensificação da extração de madeiras e dos desmatamentos para a cultura de banana e realização de obras (Pompéia *et al.* 1990, *apud* SMA 1990).

Nos anos cinqüenta, deu-se início à inserção de um complexo industrial em Cubatão, com a vinda de muitas indústrias, principalmente as petroquímicas, siderúrgicas e metalúrgicas. Características importantes do local favoreceram essa inserção em Cubatão: proximidade do Porto de Santos, energia elétrica em abundância e vizinhança com grandes mercados consumidores (cidades de São Paulo, São Bernardo do Campo, Santo André e São Caetano do Sul). Entretanto, a instalação dessas indústrias ocorreu de forma desordenada, sem levar em consideração a topografia e os fatores meteorológicos desfavoráveis à dispersão dos poluentes atmosféricos lançados pelo complexo industrial de Cubatão (SMA 1990, Furlan *et al.* 1999, Domingos *et al.* 2000).

No fim da década de 70 e início da década de 80, vários pesquisadores, dentre eles geólogos e botânicos, denunciaram alterações na vegetação da Serra do Mar, próxima ao complexo industrial de Cubatão. Foi observado, por exemplo, o aparecimento de paliteiros (troncos nus em pé) ocasionados pela morte de espécies de árvores sensíveis à poluição atmosférica, bem como folhas danificadas (apresentando cloroses e necroses). Mediante pesquisas realizadas pelo Instituto de Botânica, verificou-se que essas alterações também ocorriam na Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba. Essas observações foram documentadas e sua origem e seus efeitos foram questionados (SMA 1989).

Estudos posteriores, em anatomia de madeira proporcionaram a identificação de setenta e nove paliteiros, possibilitando o conhecimento de dezessete famílias com representantes bastante sensíveis à poluição atmosférica, sendo que espécies das famílias Lauraceae e Myrtaceae apresentaram os maiores índices de mortalidade (Aidar *et al.* 1989).

Alguns projetos de pesquisa, então, foram elaborados e desenvolvidos no início da década de 80, porém, com recursos institucionais limitados. Em janeiro de 1985, chuvas intensas caíram sobre o solo já saturado pelas precipitações do ano anterior e provocaram deslizamentos, que deixaram à mostra centenas de cicatrizes de solo nu (ravinas) nas escarpas da Serra do Mar em Cubatão (Ab'Saber 1987, *apud* SMA 1990).

Os deslizamentos ocorridos passaram a representar riscos, podendo comprometer a segurança de toda a população de Cubatão. Isso porque a terra, na forma de avalanche, poderia atingir as moradias nas encostas da Serra e as indústrias mais próximas, podendo dispersar seus estoques de produtos tóxicos de forma incontrolável e, também, comprometer o ambiente de diversas maneiras (SMA 1989).

Os deslizamentos, que ocorreram na Serra do Mar, foram devido à fragilidade da sua cobertura vegetal. Pelo fato do ambiente natural ser caracterizado por precipitação e umidade extremamente altas, tanto no verão como no inverno, favorecendo os processos físico-químicos nas rochas da Serra,

além de uma geologia na qual predominam as rochas ácidas e uma geomorfologia onde prevalecem escarpas com alta declividade, a Mata Atlântica é indispensável para amenizar a erosão do solo em locais de declividade mais acentuada e o assoreamento dos cursos d'água. Sua importância, também, se deve à formação de um emaranhado de galhos, folhas e detritos na superfície do solo, constituindo a serapilheira que protege o terreno do impacto das chuvas (SMA 1990, 2000).

O assunto repercutiu por toda a sociedade civil, o que induziu o Governo do Estado de São Paulo a formar uma comissão específica para solucionar tal problemática. Dentre as medidas de emergência, foram definidas como prioritárias: obras para a contenção das encostas e dragagem dos rios, plano de defesa civil, eliminação das áreas habitacionais de risco e plantio nas ravinas (SMA 1989).

As indústrias de Cubatão passaram a semear imediatamente gramíneas, principalmente do gênero *Brachiaria*, nas ravinas mais próximas de suas instalações. No entanto, essa iniciativa foi muito questionada, havendo protestos contra a introdução de espécies exóticas na Mata Atlântica; já que *Brachiaria* é altamente agressiva e que, quando instalada, domina o ambiente (como havia ocorrido no interior do Brasil), além de favorecer incêndios no período de seca. Essas gramíneas poderiam, também, prejudicar o desenvolvimento e a restauração natural da vegetação nativa (SMA 1989).

Em julho de 1985, o Instituto de Botânica começou a participar do grupo executivo do Governo do Estado, com a proposta de suspensão imediata do plantio de *Brachiaria*, acompanhamento do seu desenvolvimento em áreas já plantadas e dando início ao plantio de espécies nativas, da própria região, para recobrir as ravinas (SMA 1989).

Visando a recomposição vegetal em áreas da Serra do Mar, as espécies *Tibouchina pulchra* Cogn. e *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naud. (sinonímia *Miconia pyrifolia* Naud.), pertencentes à família Melastomataceae, foram selecionadas como material para o plantio manual e semeadura aérea, por terem sido consideradas, já naquela época, resistentes à poluição atmosférica de Cubatão (SMA 1990).

No fim dos anos 80 houve a consolidação do Projeto Serra do Mar, pelo Acordo de Cooperação Brasil-Alemanha. Desenvolvido com recursos humanos de várias instituições de pesquisa e ensino, nacionais e alemãs, e mediante recursos dos governos alemão e brasileiro, proporcionou o desenvolvimento de diversos estudos inseridos em quatro diferentes módulos: Módulo de Circulação Atmosférica e Transporte de Massa; Módulo de Química; Módulo de Solo e Módulo de Vegetação (Targa & Klockow 1997).

Os estudos desenvolvidos no Módulo de Vegetação confirmaram as espécies *Tibouchina pulchra* e *Miconia cinnamomifolia* como tolerantes ao estresse causado pela poluição atmosférica de Cubatão, apesar destas também sofrerem danos decorrentes desta poluição (Klumpp *et al.* 2002). Pelo fato dessas espécies serem bastante exigentes quanto à disponibilidade de luz elas se tornam favorecidas pela abertura do dossel da Mata, devido à morte das espécies mais sensíveis nas áreas mais poluídas e, conseqüentemente, aumentando sua ocorrência (Pompéia 1997, 2000).

O complexo industrial fez com que Cubatão ficasse conhecida como a cidade mais poluída do mundo durante a década de 1980. Dessa forma, a região da Serra do Mar passou a ser o primeiro grande laboratório natural para a investigação dos efeitos da poluição atmosférica sobre uma floresta tropical úmida e suas espécies (Klumpp *et al.* 2000a, Pompéia 2000).

I.1.2) A poluição atmosférica e a cidade de Cubatão

Dentre os diversos agentes causadores de estresse nas espécies vegetais, os poluentes atmosféricos têm sido considerados, há muito tempo, um dos mais prejudiciais. Existem vários poluentes na atmosfera, sendo que alguns são resultantes de processos naturais e outros se originam da

ação antrópica, sendo que os últimos, nos centros urbanos industrializados, excedem de forma considerável os oriundos de forma natural (OECD 1989, Phólio & França 1989).

Os poluentes atmosféricos, que ocorrem em uma região e em um tempo específico, são denominados imissões e os emitidos por uma fonte são denominados emissões. A concentração de um poluente atmosférico em um local é denominada concentração de imissão. Na literatura especializada, imissão refere-se ao efeito do que está presente no ambiente e pode agir no interior de um ser vivo, representando um risco potencial. A imissão pode ser expressa pela quantidade do poluente por volume de ar ($\mu\text{g.m}^{-3}$). Com respeito aos poluentes atmosféricos gasosos, suas concentrações são expressas em termos de diluição (ppm = 1:106; ou em ppb = 1:109), ou em peso por volume (mg.m^{-3}) (Larcher 2000).

Há vários fatores que interferem na quantidade de um poluente absorvido pela planta. Dentre eles estão os fatores do meio, como radiação, condições atmosféricas (temperatura, umidade do ar, precipitação, vento) e edáficas (umidade, nutrientes, pH) (Arndt *et al.* 1995, Larcher 2000). Há, também, os fatores endógenos da planta, tais como a resistência da espécie, seu estágio de desenvolvimento, seus processos de desintoxicação e o balanço de nutrientes, por exemplo. Os fatores referentes às características do poluente como, por exemplo, sua forma química, física e sua concentração também são relevantes (Arndt *et al.* 1995, Larcher 2000). Há, ainda, os fatores biocenóticos, dentre eles o tipo de vegetação e sua densidade, bem como os demais seres vivos relacionados direta ou indiretamente com a planta (Arndt *et al.* 1995, Larcher 2000).

A poluição atmosférica age de três maneiras sobre a floresta: através da redução da produtividade, ocasionada pela diminuição da fotossíntese líquida das plantas; pela eliminação das espécies sensíveis e indivíduos mais vulneráveis; pelo favorecimento das espécies tolerantes, ou resistentes, e as espécies oportunistas. A diminuição da produtividade líquida provoca uma redução na biomassa vegetal, altera o microclima e interfere na ciclagem de nutrientes, comprometendo diretamente as características estruturais da floresta, bem como a sua diversidade (Pompéia 2000).

Determinados poluentes atmosféricos são denominados primários e outros secundários. Os poluentes atmosféricos primários são aqueles emitidos diretamente pela fonte, tais como os fluoretos, materiais particulados, hidrocarbonetos, óxidos de enxofre e nitrogênio, por exemplo. Há poluentes primários que são passivos de reações fotoquímicas, cujos produtos correspondem a poluentes diferentes dos iniciais, sendo denominados poluentes secundários, como o ozônio e o nitrato de peroxiacetila (Alloway & Ayres 1994, Domingos *et al.* 2002).

Os fluoretos (gasosos e particulados) são considerados poluentes primários extremamente fitotóxicos. Dentre suas fontes naturais podem ser citadas as atividades vulcânicas e a liberação de aerossóis marinhos. Antropogenicamente, fluoretos são lançados na atmosfera por diversos processos industriais, dentre eles a incineração de carvão, a fundição de alumínio e outros metais não-ferrosos, a produção de superfosfato e outros adubos minerais, a fabricação de vidro e de cerâmica (Arndt *et al.* 1995, Pompéia 2000). Os fluoretos podem ser absorvidos da atmosfera pelas plantas principalmente pelas folhas; mas pode, também, ocorrer absorção pelas raízes das partículas depositadas no solo (Arndt *et al.* 1995). Muitos estudos relacionam a influência da nutrição mineral na sensibilidade de plantas aos fluoretos (Chang 1975).

As atividades vulcânicas, somadas à decomposição da matéria orgânica e à vaporização do mar, são fontes naturais de compostos de enxofre. Do ponto de vista antropogênico esses compostos podem ser lançados por indústrias que realizam a combustão de carvão contendo enxofre, bem como dos processos de fundição de minérios não-ferrosos (Mudd 1975, Corson 1993, Alloway & Ayres 1994). Segundo Rennenberg *et al.* (1996, *apud* Domingos 1998) o enxofre absorvido pelos estômatos é acumulado nas folhas na forma de sulfato e enxofre orgânico, podendo ser transportado para as raízes, causando a inibição da absorção radicular. Domingos *et al.* (2002), por sua vez, salientam que a maior parte do enxofre assimilado pelas plantas é absorvido do solo pelas raízes.

Dentre as fontes naturais dos compostos nitrogenados podem ser citados os processos de decomposição da matéria orgânica, além das atividades de algas e bactérias do gênero *Rhizobium*

(Taylor *et al.* 1975, Alloway & Ayres 1994). Por outro lado, aproximadamente metade do NO_x (óxidos nitrogenados e dióxido de nitrogênio) antropogênico é emitido por veículos motorizados e cerca de um terço vem das usinas de força (Corson 1993, Alloway & Ayres 1994), além de fábricas de combustão e de fertilizantes com nitrogênio (Alloway & Ayres 1994).

A deposição ácida, líquida (constituindo a chuva ácida) ou seca, ocorre quando óxidos sulfúricos e nitrogenados emitidos na atmosfera formam, através de reações, ácidos sulfúricos e nítricos (Likens *et al.* 1972). Apesar da deposição ácida não ser geralmente monitorada, o pH da água da chuva é freqüentemente mensurado (Macêdo 2002). O local onde ocorre a deposição pode estar de perto a muito distante da fonte, e isto vai depender de vários fatores, como altura da fonte, natureza química da atmosfera e abundância da água líquida (Macêdo 2002). Pode haver, também, influência de outros fatores, tais como o vento e a topografia (SMA 1990, Furlan *et al.* 1999, Domingos *et al.* 2000).

Os compostos orgânicos voláteis, chamados de hidrocarbonetos, originam-se, naturalmente, do fogo e da decomposição da matéria orgânica. Antropogenicamente eles são originados a partir da queima incompleta de combustíveis fósseis. Os hidrocarbonetos, mediante a ação da luz nas camadas atmosféricas mais inferiores, combinam-se com outros gases como o dióxido de nitrogênio, o gás oxigênio e o monóxido de carbono, resultando em oxidantes fotoquímicos como o ozônio troposférico (O₃) e o nitrato peroxiacetila (PAN), poluentes secundários altamente fitotóxicos (Alloway & Ayres 1994).

Os metais pesados, chamados de metais traço (zinco, cobre, chumbo, cádmio, mercúrio, etc.), têm sua origem natural a partir dos processos geoquímicos, bem como de rochas e minérios, solos, sedimentos e águas. Eles são muito usados em eletrônicos e máquinas, na produção de fertilizantes e pesticidas, na queima de combustíveis fósseis, indústrias metalúrgicas, etc. (Alloway & Ayres 1994, Odukoya *et al.* 2000). Alguns dos metais pesados, tais como o cobre, o manganês, o ferro e o zinco, são essenciais às plantas e animais. Entretanto, concentrações elevadas dos metais pesados, especialmente dos tóxicos (como o mercúrio, o chumbo e o cádmio) podem ser acumulados nas

camadas superficiais do solo, contribuindo para o dano na vegetação e para alterações nas populações de microorganismos (Alloway & Ayres 1994). Segundo De Temmerman *et al.* (2004), é difícil determinar exatamente a contribuição da absorção radicular dos metais pesados pelas plantas, mas sabe-se que a absorção e o transporte no solo de elementos como o chumbo e o mercúrio são baixos.

Material particulado é um conglomerado de substâncias quimicamente heterogêneas, tais como partículas de cimento e de chumbo, óxidos de magnésio, de ferro e fuligem (Lerman & Darley 1975). Segundo Tremper *et al.* (2004), os automóveis correspondem à principal fonte desse poluente primário. Os materiais particulados agem direta e indiretamente sobre as plantas, tendo sua toxicidez freqüentemente associada a metais pesados (Domingos *et al.* 2002, Tremper *et al.* 2004). Segundo Kozlowski *et al.* (1991), os materiais particulados, pela ação do vento e da chuva, por exemplo, podem danificar a superfície foliar das plantas, comprometendo o seu papel no organismo.

O complexo industrial de Cubatão, com mais de noventa indústrias dos setores petroquímico, siderúrgico e metalúrgico, lançam na atmosfera grande quantidade de poluentes atmosféricos primários, conforme a Tabela 1. Além dos poluentes primários, formam-se, também, na atmosfera da região poluentes secundários, como o ozônio e o nitrato peroxiacetila (CETESB 1991, 1996, 2003).

Tabela 1: Principais poluentes primários que ocorrem no município de Cubatão e suas respectivas origens.

POLUENTES PRIMÁRIOS	ORIGEM NATURAL	ORIGEM ANTROPOGÊNICA
Dióxido de Enxofre (SO ₂)*	vulcões, decomposição da matéria orgânica	combustão de carvão contendo enxofre e de derivados de petróleo; fundição de minerais não-ferrosos
Oxidos de Nitrogênio (Nox)*	decomposição da matéria orgânica	veículos motonizados, usinas de força e indústrias
Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)*	decomposição da matéria orgânica, fogo	queima incompleta de combustíveis fósseis, siderúrgicas e refinarias de petróleo
Fluoretos**	vulcanismo e aerossóis naturais	fundição de metais não-ferrosos, especialmente o Al, indústrias de cerâmica, de vidros e de fertilizantes fosfatados
Materiais Particulados (MP) *	aerossóis naturais	queima de combustíveis fósseis; siderúrgicas e refinarias de petróleo

Fonte: * CORSON (1993); ** ARNDT *et al.* (1995).

I.2) BIOMONITORAMENTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Uma das formas de análise, dos efeitos tóxicos de poluentes e de outras substâncias nocivas sobre o ambiente, corresponde ao biomonitoramento, ou monitoramento biológico, que tem sido utilizado em vários países. O biomonitoramento é definido como a capacidade de resposta de organismos vivos a modificações de seu ambiente (Domingos *et al.* 2002, De Temmerman *et al.* 2004, Stabentheiner *et al.* 2004).

O uso de bioindicadores é muito antigo e, até hoje, ele tem sido empregado com sucesso no monitoramento ambiental. Uma das explicações para tal fato é que os bioindicadores apresentam duas vantagens, quando comparados às outras formas de avaliação dos níveis de poluição atmosférica que utilizam amostradores químicos: são muito mais baratos e permitem medir os efeitos que o acúmulo de substâncias tóxicas causam aos organismos (Figueiredo 1994).

Os seres bioindicadores de poluição respondem à presença dos poluentes por meio de alterações em seus processos vitais, sendo denominados indicadores por meio de resposta; ou respondem pela acumulação do poluente, sendo denominados indicadores por meio de acumulação (Garrec & Van Haluwyn 2002, *apud* De Temmerman *et al.* 2004).

Para o estudo dos efeitos da poluição atmosférica em espécies de plantas têm-se utilizado os métodos de biomonitoramento passivo e ativo. O biomonitoramento passivo é realizado pela observação e análise das plantas em seu próprio ambiente natural. Já o biomonitoramento ativo requer a utilização de espécie-padrão exposta na área em que se deseja avaliar a qualidade do ar (Larcher 2000, Domingos *et al.* 2002, De Temmerman *et al.* 2004).

Algumas espécies vegetais bioindicadoras, mundialmente utilizadas, vêm servindo como material para a avaliação da qualidade atmosférica da região do complexo industrial de Cubatão. Dentre elas estão *Gladiolus* híbridos, *Nicotiana tabacum*, *Lolium multiflorum* e *Urtica urens*, bioindicadoras de fluoreto, ozônio, elementos tóxicos e nitrato peroxiacetila, respectivamente (Klumpp *et al.* 1994, 1995, Domingos *et al.* 1998, 2002).

A espécie *Tibouchina pulchra* tem sido muito utilizada em estudos no Brasil, na tentativa de verificar seu provável potencial como espécie bioindicadora dentre as nativas. Dentre eles podem ser citados os trabalhos de Mazzoni-Viveiros (1996, 2000) e Mazzoni-Viveiros & Trufem (2004) onde foi verificado que a poluição atmosférica do local, entre outros efeitos, ocasionou: aumento na taxa de ramificação, modificações na estrutura do lenho, alterações na composição e ornamentação da cutícula foliar e aumento da taxa de associações micorrízicas. Domingos (1998) verificou desarmonias nutricionais, além de outros efeitos. Szabo (1999), observou, por exemplo, a ocorrência de estresse oxidativo e, assim como Furlan *et al.* (1999), alterações entre metabólitos. Moraes *et al.* (2000) observaram uma significativa alteração na produção de fotossíntese líquida, dentre outros efeitos, e Klumpp *et al.* (2000b) verificaram alterações em parâmetros bioquímicos diversos.

I.3) O ESTUDO ANATÔMICO DO LENHO

Segundo Baas (1982), os primeiros estudos em anatomia do lenho (madeira) ocorreram no século XVII, tendo Robert Hooke como pioneiro. Analisando pedaços de carvão, Hooke verificou que este apresenta vasos e fibras. Entretanto, para Baas (*l.c.*) os pais da anatomia vegetal são Marcello Malpighi (1628-1694), Nehemiah Grew (1641-1712) e Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723). Malpighi e Grew contribuíram para o entendimento da estrutura tridimensional do lenho, além de terem ilustrado e descrito muitos lenhos de dicotiledônes e de algumas gimnospermas. Leeuwenhoek, por sua vez, foi o primeiro a estudar espécies tropicais e verificar a influência de fatores ambientais na largura de anéis de crescimento e nas propriedades mecânicas do lenho. Segundo Baas (1982), foi através dos trabalhos de Leeuwenhoek que houve o início dos estudos ecológicos e tecnológicos com o uso da anatomia do lenho.

A partir do século XIX, a anatomia do lenho passou ser utilizada em estudos taxonômicos e sistemáticos. Sanio (1863, *apud* Baas 1982), no entanto, chegou a verificar que as características

anatômicas do lenho apresentam um valor sistemático relativo. Conclusões semelhantes foram obtidas por Vesque (1881, *apud* Baas 1982).

No fim do século XIX os estudos relativos à anatomia do lenho passaram de uma fase descritiva para uma comparativa. A anatomia comparativa, além de contribuir para estudos taxonômicos, sistemáticos e filogenéticos, permitiu agrupar espécies com potencial econômico, facilitando a sua identificação e utilização. Solereder (1885, 1899, *apud* Baas 1982) utilizou o conhecimento do estudo do lenho adquirido para realizar estudos sistemáticos. Bailey & Tupper (1918, *apud* Baas 1982) estabeleceram tendências filogenéticas dos constituintes do lenho. Metcalfe & Chalk (1950) descreveram, dentre outras, as características anatômicas do lenho das famílias de Dicotiledônea, sendo obra de referência até hoje.

A Associação Internacional de Anatomistas de Madeiras (IAWA), fundada em 1931, contribuiu na padronização dos termos em anatomia do lenho e em sua descrição. Essa contribuição ocorreu por meio de várias publicações, dentre elas o glossário multilingual de termos em anatomia do lenho (IAWA Committee 1964), a lista de características microscópicas para a identificação de lenho de angiospermas (IAWA Committee 1989) e outra lista, semelhante à anteriormente citada, para gimnospermas (IAWA Committee 2004).

Houve, também, uma iniciativa na América Latina no intuito de padronizar a coleta e a descrição do lenho (COPANT 1969, 1973), colaborando de forma significativa para a homogeneização dos estudos quando não se contava, ainda, com as obras da IAWA.

I.3.1) Estudos em anatomia ecológica do lenho

Os estudos em anatomia ecológica do lenho (xilema ou madeira) permitem relacionar determinadas condições ambientais às características anatômicas quali e quantitativas desse tecido condutor da planta, possibilitando realizar interpretações funcionais das alterações ocorridas no lenho (Carlquist 1977).

Zimmermann & Brown (1971) foram os autores de uma das primeiras publicações a tratar o lenho sob esse enfoque. Segundo os autores, fatores ambientais, tais como forças mecânicas, luz, temperatura e estresse hídrico, influenciam na estrutura anatômica dos vegetais. Nessa publicação, a condutividade hidráulica foi relacionada à estrutura do lenho, ou seja, afirmou-se que vasos de comprimento limitado e perfurações incompletas, como no caso de perfuração escalariforme, interferem no fluxo, reduzindo a condutividade hidráulica da planta. Há comentários sobre a teoria da tensão-coesão, a ocorrência de embolismos, o fluxo hídrico (eficiência e garantia do fluxo). A teoria citada indica que tensões estão freqüentemente presentes no lenho, apesar da pressão poder ser positiva em alguns casos, e que células vivas são necessárias para a ascensão da seiva. Também foi comentado que o lenho das dicotiledôneas apresenta vantagens, no que diz respeito ao fluxo hídrico, por seus vasos serem compridos e largos, sendo que as mesmas características fornecem altos riscos de ocorrerem embolismos.

Carlquist (1975) salientou que as dimensões dos constituintes celulares do lenho vão depender tanto de potencialidades genéticas e características ontogenéticas (o comprimento das iniciais cambiais) como de fatores ecológicos. Situações chuvosas, ou de taxas relativamente uniformes de transpiração em situações métricas, geram menores tensões hídricas nos sistemas de condução dos lenhos. Sob essas situações são esperados, segundo Carlquist (*l.c.*), lenhos com elementos de vasos longos e largos, pois não precisa haver muita resistência à pressão negativa das colunas de água. Carlquist (1975) explicou, ainda, que os arbustos de deserto apresentam anel poroso devido à necessidade do lenho, neste grupo, apresentar vasos largos na época chuvosa do ano, permitindo o aumento do fluxo hídrico e, durante a porção seca do ano, apresentar vasos estreitos que resistem à alta

tensão hídrica, sendo suficientes para a condução do menor volume de água disponível. O autor ressaltou, também, que as características do elemento de vaso variam de acordo com os fatores ecológicos e fisiológicos entre gêneros, espécies e até entre indivíduos.

Baas (1982) discutiu diversas tendências ecológicas na anatomia do lenho e salientou que, já em 1889, Vesque havia verificado que os parâmetros anatômicos do lenho, como diâmetro de vasos e frequência, podiam ser alterados por condições ambientais diversas. Foi citado o trabalho de Vesque & Viet (1881, *apud* Baas 1982), que verificaram que lenho de ervilha apresentou poucos e pequenos vasos quando cultivados em atmosfera úmida. Baas (*l.c.*), assim como Carlquist (1980), esclareceu que estudos ecológicos correlacionando a morfologia do xilema com a da folha são necessários para determinar o significado fisiologicamente adaptativo dos padrões observados, já que o corpo da planta deve ser considerado como um contínuo funcional e estrutural, onde raízes e caules se relacionam, refletindo as condições ambientais.

Zimmermann (1982) comentou que a largura do vaso e seu comprimento são parâmetros que determinam a garantia (segurança) ou eficiência da condução de água, bem como explicou que árvores com vasos largos são mais vulneráveis a perdas do sistema de condução durante o inverno, além de fazer comentários sobre a importância do anel poroso. O autor ressaltou que árvores com vasos estreitos, como bordô (*Acer*), apresentam diâmetro de vaso em torno de 75µm. Os vasos de carvalho (*Quercus*) são quatro vezes mais largos e trinta vezes mais compridos que os de bordô. No intuito de transportar a mesma quantidade de água em um dado gradiente de pressão, bordô precisa de, aproximadamente, setecentas vezes mais vasos que o carvalho. Se um simples vaso é perdido por algum acidente, tal como herbivoria, o dano no carvalho é setecentas vezes mais sério que no bordô. Zimmermann (*l.c.*) comentou sobre a correlação entre diâmetro e comprimento de vaso: vasos largos são mais longos que vasos estreitos. Ele salientou que essa correlação é também evidente em um simples anel de crescimento: os vasos largos do lenho inicial de *Quercus* estão em torno de sete metros, enquanto todos os vasos estreitos do lenho tardio apresentam em torno de um metro.

Carlquist (1988) discutiu vários aspectos, sendo que dentre eles estão os relacionados à garantia e eficiência condutivas, à força mecânica e ao armazenamento de água. Com respeito à garantia e eficiência condutivas, além de outras considerações, o autor enfatizou que, em anéis de crescimento, vasos estreitos podem continuar a condução mesmo que os vasos largos sofram embolias. Carlquist (*l.c.*) comentou sobre seus trabalhos anteriores relacionados às guarnições de parede e de pontoações do vaso; segundo ele essas estruturas são encontradas em lenhos provenientes de ambientes xéricos como, por exemplo, o lenho de *Eucalyptus* e outras Myrtaceae. No entanto, o autor enfatizou que nem todas as Myrtaceae com guarnições ocorrem em habitats secos. Carlquist (*l.c.*) verificou que em duas espécies da família Fagaceae e uma de Lauraceae, as guarnições são ausentes em vasos do lenho precoce, mas presentes em vasos do lenho tardio. Em Winteraceae, foi observado que guarnições estão mais presentes em traqueídes de espécies de temperatura fria e ausentes em espécies subtropicais. Para o autor uma hipótese funcional pode ser atribuída, ou seja, pode-se imaginar que as guarnições, pelo acréscimo da área superficial em vasos e traqueídes, aumentam a retenção de água e previnem a ocorrência de embolias. Outra possibilidade é que as guarnições podem auxiliar na reabsorção de bolhas formadas. Nesses casos o aumento da garantia do fluxo hídrico seria o resultado.

Carlquist & Hoekman (1985) realizaram um levantamento de características das células constituintes do lenho de plantas expostas a ambientes xéricos. Segundo eles, a xeromorfia é indicada por maior frequência de vasos, vasos estreitos, elementos de vasos com menor comprimento, presença de traqueídes vasicêntricas ou vasculares, presença de espessamento escalariforme nas paredes dos elementos de vasos e presença de anéis de crescimento bem delimitados. Os autores, ainda, verificaram que o comprimento de elementos de vasos parece modificar mais lentamente do que outras características e que a frequência de vasos modifica mais rapidamente do que o seu diâmetro.

Bajaras-Morales (1985) realizou um estudo comparativo entre espécies de floresta decídua e pluvial do México. Foi verificado que a frequência de raios e o espessamento de parede de fibra não

variaram entre as amostras dos dois tipos de floresta. Entretanto, verificou-se que as espécies da floresta decídua apresentam elementos de vasos menores e mais estreitos, fibras menores, vasos com paredes mais espessas e em maior frequência, além de muitos cristais.

Gomes & Muñoz (1986) estudaram a estrutura anatômica do lenho de três espécies de *Prosopis* – *P. caldenia* Burk, *P. chilensis* (Mol.) Stuntz e *P. juliflora* (Sw.) DC - mediante a influência de condições climáticas, como a temperatura e a pluviosidade. Os espécimes analisados vieram de ambientes com diferenças quanto à amplitude térmica e ao grau de aridez. Observou-se que a aridez condiciona a ocorrência de porosidade, pois *P. caldenia*, encontrada em ambiente seco, apresentou anel poroso; *P. chilensis*, encontrada em ambiente com maior precipitação, apresentou anel semi-poroso e *P. juliflora*, encontrada em ambiente com temperaturas inferiores e maiores níveis de precipitação que os anteriores, apresentou porosidade difusa.

Roberts *et al.* (1988) salientaram que dentre as condições ambientais envolvidas na expressão modificada da formação de elementos vasculares estão a temperatura, a luminosidade, os gases, além de estresses mecânicos e acidificação do solo. Segundo os autores, na maioria dos casos, as modificações observadas resultam de estresses ambientais. Na mesma publicação citou-se o trabalho de Aloni (1987, *apud* Roberts *et al.* 1988), onde foi sugerido que o ambiente controla as dimensões dos vasos e seu padrão de distribuição, pelo seu controle de desenvolvimento e altura da planta. Para explicar como uma condição ecológica controla o tamanho e a frequência de vasos e fibras em plantas, Aloni propôs as seguintes hipóteses de adaptação vascular: 1) condições limitantes no ambiente limitam o tamanho final da planta, enquanto que condições que não limitam o seu desenvolvimento permitem que a planta tenha uma altura e tamanho máximos; 2) a duração dos períodos de crescimento determina o desenvolvimento total da planta. Segundo Aloni (1987, *apud* Roberts *et al.* 1988), em habitats extremos e limitantes o período de crescimento ativo é relativamente curto e resulta em plantas pequenas, enquanto que condições estáveis e moderadamente confortáveis possibilitam mais atividade de crescimento através do ano. Então, o resultado corresponde a plantas largas e bem

desenvolvidas. A altura da planta, bem como o seu grau de ramificação, determinam gradientes de auxina pelo eixo axial da planta. O aumento na altura da planta e a diminuição da ramificação aumentam o gradiente de auxina de folhas jovens (fontes de auxinas) para as partes basais do caule. Segundo Aloni, nos arbustos pequenos, que ocorrem tipicamente em habitats tanto frios quanto secos, bem como em locais onde não há solo suficiente para as raízes, as distâncias das folhas jovens para as raízes são bem curtas e não se forma um gradiente substancial de auxina. Por essa razão, os níveis de auxina são relativamente elevados nessas pequenas plantas e resultam na formação de vasos muito pequenos e com elevada densidade.

Villagra & Juñent (1997) estudaram a estrutura do lenho de outras duas espécies de *Prosopis* (*P. alpataco* Phil. e *P. argentina* Burk.) crescendo sob diferentes condições edáficas. *P. alpataco* cresce em solos argilosos e apresenta um sistema radicular profundo, possibilitando alcançar a água subterrânea, e *P. argentina* cresce em dunas de areia. Foi observado que, apesar das duas espécies apresentarem lenho similar, *P. argentina* possui mais características xeromórficas que *P. alpataco*, como maiores valores para frequência de vasos, número de vasos agrupados e proporção de vasos com diâmetro pequeno. Concluiu-se que *P. argentina* desenvolve uma arquitetura hidráulica que pode ser capaz de maximizar o uso de água disponível, mas pode também ser capaz de maximizar a segurança do sistema de condução de água, através da presença de um grande número de vasos agrupados e de diâmetro pequeno. Essa estrutura pode permitir à espécie suportar eventos de extremo estresse hídrico, típico em dunas de areia. Já para *P. alpataco*, concluiu-se que seu lenho tem uma tendência para o mesomorfismo, com uma maior proporção de vasos solitários e de diâmetro grande, sendo que seu sistema radicular proporciona uma relativa independência de variações na disponibilidade de água nas camadas mais superficiais do solo.

Izuta *et al.* (2001) verificaram que solo acidificado com H_2SO_4 tende a induzir a formação de pequenos elementos de vasos em uma espécie de *Fagus*. Os autores concluíram, ainda, que elementos

de vasos estreitos e em pouca quantidade, somados à presença de anéis de crescimento estreitos, podem diminuir a condutividade hídrica no lenho da espécie crescendo em solo sob esse tratamento.

Os estudos em anatomia ecológica do lenho realizados com espécies tropicais nativas do Brasil ainda são poucos e relacionam-se, em sua maioria, com o fator água, direta ou indiretamente.

Mina-Rodrigues (1986), Chimelo & Mattos Filho (1988), Ceccantini (1996) e Marcati *et al.* (2001), por exemplo, realizaram estudo anatômico comparando lenho de espécimes provenientes de ambientes diferentes quanto à disponibilidade hídrica (xéricos e méxicos).

Mina-Rodrigues (1986) comparou a morfologia e anatomia dos órgãos vegetativos de espécimes de *Pera glabrata* (Schott) Baill., provenientes de mata mesófila semidecídua e de cerrado. Com respeito ao lenho, a autora constatou que os espécimes do cerrado apresentaram maior diâmetro de vaso e de pontoação raio-vascular e que as características comprimento de elemento de vaso e frequência de vaso não diferiram significativamente entre os locais. *Pera glabrata* esteve sob condições climáticas bastante semelhantes, já que no cerrado a pluviosidade e a temperatura não variaram, consideravelmente, em relação à mata. Segundo a autora, as diferenças estatisticamente significativas observadas, entre os materiais de ambas as procedências, dificilmente poderão ser atribuídas a um ou outro determinado fator ambiental.

Chimelo & Mattos Filho (1988) analisaram o lenho de cinco espécies provenientes de floresta, cerrado e caatinga. Eles verificaram que os espécimes da caatinga e do cerrado, quando comparados aos da floresta, apresentaram elementos de vasos mais curtos, estreitos e em maior frequência; raios mais compridos e largos e fibras mais curtas. Os autores atribuíram esses resultados à composição e à umidade do solo.

Ceccantini (1996) comparou amostras do lenho de *Casearia sylvestris* Sw. e *Machaerium villosum* Vog. provenientes de mata mesófila e de cerrado. O autor verificou em *Casearia sylvestris* diferenças qualitativas, como a presença de anéis semi-porosos e máculas medulares no lenho dos espécimes do cerrado; além de diferenças quantitativas para o diâmetro e comprimento das fibras, que

foram maiores nos indivíduos da mata. Em *Machaerium villosum*, diferenças qualitativas entre os lenhos provenientes das duas áreas não foram muito evidentes. Dentre as características quantitativas, foram constatadas, principalmente, diferenças com respeito ao diâmetro e frequência dos vasos, que se apresentaram maiores nos espécimes da mata mesófila.

Marcati *et al.* (2001) verificaram que espécimes de *Copaifera langsdorffii* Desf. provenientes de cerradão apresentaram fibras gelatinosas em maior quantidade e diâmetro de vaso maior do que espécimes de floresta; enquanto que o diâmetro das pontuações intervasculares foi maior nos espécimes da floresta. Os autores salientaram que a maioria das características anatômicas quantitativas não apresentou diferenças significativas entre os ambientes, provavelmente pelo fato do cerradão ser um ambiente de transição entre floresta e cerrado e que, portanto, as características que definem o cerrado estão amenizadas, não influenciando muito na anatomia do lenho da espécie estudada.

Já Luchi (1990, 1998, 2004) trabalhou com lenho de espécies provenientes de matas ciliares sujeitas ou não ao alagamento. Luchi (1990) analisou as características anatômicas do lenho de vinte e uma espécies arbóreas, pertencentes a catorze famílias de ocorrência na Mata Ciliar da Serra do Cipó, no Estado de Minas Gerais. A autora verificou que algumas características quantitativas - como o diâmetro dos vasos, a frequência e o comprimento dos elementos vasculares - indicaram estratégias referentes tanto à eficiência como à garantia do fluxo hídrico, relacionadas, respectivamente, à condições hídricas favoráveis e desfavoráveis. Entretanto, algumas características qualitativas - como, por exemplo, a presença de camadas de crescimento e de células perfuradas de raio - indicaram uma maior tendência das espécies de se adaptarem a condições hídricas desfavoráveis. Mediante os resultados obtidos foi reforçada a idéia de que as matas ciliares não são ambientes com suprimento hídrico constante. Luchi (1998) realizou a comparação da anatomia da madeira de espécies lenhosas em duas áreas de mata ciliar, Mata da Figueira e Mata do Português, ambas na Estação Ecológica de Moji-Guaçu, e estudou a periodicidade de crescimento de *Hymenaea courbaril* L. A autora verificou

que, apesar dos solos das duas áreas localizarem-se próximos ao rio, seus espécimes estão anualmente sujeitos a um estresse hídrico. Isso foi comprovado em *Hymenaea courbaril* pela presença de camadas de crescimento periódicas e anuais, bem como a presença acentuada de cristais na faixa de parênquima terminal desta espécie e na faixa de parênquima marginal de *Inga vera* Willd. Outras espécies apresentaram características tais como: anel semiporoso, presença de fibras com achatamento e/ou espessamento de parede. Luchi (2004) analisou as possíveis modificações anatômicas do lenho de indivíduos adultos de *Croton urucurana* Baill. de áreas de solo alagado, úmido e seco situadas à margem do Rio Moji-Guaçu, em São Paulo. A autora teve como principais resultados: - maiores médias para frequência e diâmetro de vaso, bem como para diâmetro de fibra nos espécimes pertencentes às áreas úmida e alagada; - maior frequência de vasos geminados nos indivíduos da área alagada; - maiores médias para porcentagem de raios nos espécimes da área alagada; - fibras com camada gelatinosa; - presença de delimitação de camadas de crescimento somente nos indivíduos da área seca. Verificou-se que a espécie apresenta estratégias anatômicas distintas de tolerância aos estresses ambientais.

Mazzoni-Viveiros (1986), Alves (1997) e Alves & Angyalossy-Alfonso (2001, 2002) trabalharam com lenho obtido de regiões com diferentes características ambientais, tais como umidade e latitude.

Mazzoni-Viveiros (1986) comentou que, embora o lenho da família Humiriaceae seja bastante homogêneo, podem ocorrer diferenças significativas entre as características de seus constituintes, devido às adaptações desenvolvidas por populações que se encontram em diferentes ecossistemas. Foi verificado, por exemplo, que a espécie *Vantanea compacta* (Schnizl.) Cuatr. subsp. *compacta* var. *compacta* Cuatr., proveniente do sul do Brasil, apresentou elementos vasculares de diâmetro e comprimento reduzido, além de maior frequência de vasos, quando comparado a outras representantes do mesmo gênero coletado em menores latitudes.

Alves & Angyalossy-Alfonso (2001, 2002) realizaram uma análise ampla através do estudo do lenho de vinte e duas famílias mais representativas da flora brasileira, abrangendo 22 famílias, 133 gêneros e cerca de 490 espécies no intuito de verificar tendências anatômicas do lenho em relação a diversos fatores ambientais (como temperatura, umidade, clima, latitude, altitude e vegetação), porém não incluíram neste estudo a família Melastomataceae. Dentre as tendências verificadas estão: - formação de algum tipo de arranjo de vasos em maiores latitudes e ambientes com temperatura sazonal; - ocorrência de vasos múltiplos em ambientes com sazonalidade em relação à temperatura e umidade; - ocorrência de parede de fibra mais fina em ambientes com maiores latitudes, umidade e altitude; - mais parênquima apotraqueal em maiores latitudes e parênquima paratraqueal em menores latitudes; - maior quantidade de parênquima axial em latitudes menores, assim como raios mais finos; - ocorrência de camadas de crescimento em ambientes com sazonalidade térmica.

As respostas encontradas em lenho quando os espécimes estão sujeitos à poluição atmosférica têm sido semelhantes às aquelas relacionadas à garantia do fluxo hídrico.

Em 1986 houve um congresso, realizado pela IAWA e pela IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations), em que os cientistas se mostravam preocupados com o avanço de doenças em muitas árvores que cresciam próximas à indústrias, no Hemisfério Norte. Eles investigavam se a poluição atmosférica, emitida por essas indústrias, poderia alterar a estrutura do lenho, de tal forma a prejudicar a qualidade e, conseqüentemente, a utilização desta matéria-prima. Trabalhos apresentados nesse congresso foram editados por Baas & Bauch (1986). Houve, posteriormente, uma iniciativa alemã na publicação de trabalhos sobre o mesmo enfoque, sendo organizada por Bauch & Michaelis (1988).

Dentre os trabalhos publicados pela IAWA está o de Bauch (1986), que observou uma redução no comprimento dos elementos traqueais de *Picea abies* (L.) Karst. crescendo em região altamente poluída.

Fink (1986) comentou que a poluição atmosférica pode ocasionar doenças em árvores. Como resultado da análise de lenho de indivíduos doentes de *Abies alba* Mill., comparando com indivíduos saudáveis, o autor observou redução no incremento radial no xilema e nas reservas de amido de suas células parenquimáticas, bem como anéis anuais menores decorrentes da redução da atividade cambial.

Shortle & Bauch (1986) citaram o trabalho de Keller (1980, *apud* Shortle & Bauch 1986) que havia verificado modificações nas dimensões celulares de traqueídes em plantas fumigadas com dióxido de enxofre.

Segundo Frühwald (1986), a influência de árvores doentes na qualidade do lenho pode ser relacionada hipoteticamente a três possíveis causas: a poluição ambiental pesada, acompanhada de fatores de estresse natural, induz o câmbio de árvores afetadas a produzir xilema com diferenças qualitativas e quantitativas em relação a árvores não afetadas; o lenho formado antes do início do aparecimento das árvores doentes é modificado em suas propriedades pela doença ou poluição e, como um resultado dos fatores de estresse, as propriedades do lenho de árvores afetadas são modificadas de tal forma que a durabilidade deste durante longo armazenamento, ou sua utilização são alteradas.

Kort (1986) observou em *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, sujeita à poluição atmosférica, uma redução no comprimento das traqueídes e em seu diâmetro. Resultados similares foram descritos por Baas *et al.* (1984, *apud* Kort 1986), estudando árvores naturais ou artificialmente anãs, onde se verificou haver não só diminuição do diâmetro dos elementos condutores como também aumento da frequência dos vasos, quando comparado com árvores normais. De acordo com os autores, os efeitos da redução no crescimento, que determinam o hábito anão, podem ser interpretados como efeitos de estresses comparáveis com aqueles causados por poluição ambiental.

No Brasil, os estudos relacionados aos efeitos da poluição atmosférica na anatomia ecológica do lenho são escassos. Podem ser citados os trabalhos de Alves (1995) e Mazzoni-Viveiros (1996)

com espécies tropicais, nativas da Mata Atlântica, sujeitas aos poluentes provenientes do complexo industrial de Cubatão.

Alves (1995) analisou o lenho de espécimes de *Cecropia glazioui* Sneth. oriundos de três diferentes áreas da Serra do Mar; uma não afetada pela poluição atmosférica (Vale do Rio Pilões), uma moderadamente afetada (Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba) e outra bastante poluída (Vale do Rio Moji). As alterações anatômicas verificadas nos espécimes provenientes da área mais poluída foram correspondentes às encontradas em lenho proveniente de áreas onde ocorre estresse hídrico como, por exemplo, aumento na frequência de vasos e diminuição no seu diâmetro.

Mazzoni-Viveiros (1996, 2000) selecionou a espécie *Tibouchina pulchra* Cogn. As amostras foram obtidas das mesmas áreas trabalhadas por Alves (1995), além da Estação Ecológica Juréia Itatins e Estação Biológica de Boracéia. A autora verificou, dentre outros resultados, que à medida que os níveis de poluição atmosférica aumentam o lenho tende a apresentar características semelhantes às encontradas em lenho de espécimes que passam por estresse hídrico, como mais fibras gelatinosas, maior frequência de vasos, bem como redução do seu diâmetro, maior tendência em apresentar camadas de crescimento; bem como algumas que sugerem estresse nutricional, como paredes das fibras mais finas e redução na elaboração das guarnições de parede e de pontoações em elementos de vasos. As guarnições das pontoações e de parede dos elementos de vasos, por exemplo, foram sugeridas como características bioindicadoras potenciais do lenho de *Tibouchina pulchra*, pois podem responder à poluição atmosférica precocemente, necessitando estudos específicos mais aprofundados para sua confirmação.

I.3.2) Descrição do lenho na família Melastomataceae

Melastomataceae, no Brasil, é a sexta maior família de Angiospermas, apresentando 68 gêneros e mais de 1500 espécies, que se distribuem desde a Amazônia até o Rio Grande do Sul. Praticamente todas as formações vegetais apresentam um número variável de representantes da família. Suas

espécies variam muito quanto ao hábito, que pode ser desde herbáceo até arbustivo; muitas são arbóreas e, mais raramente, ocorrem espécies trepadeiras e epífitas. Essas características permitem a elas a ocupação de ambientes distintos e diversificados (Romero & Martins 2002).

Vliet (1981) já afirmava que a anatomia do lenho da família Melastomataceae era conhecida a partir de somente alguns gêneros. Segundo Metcalfe & Chalk (1950) o parênquima mais típico para a família é o paratraqueal e as placas de perfuração dos vasos são simples. As pontoações do vaso são guarnecidas (Metcalfe & Chalk 1950, Vliet 1981) e paredes guarnecidas também podem ocorrer, mas somente onde há esse tipo de pontoações (Vliet 1981). Há fibras libriformes e fibrotraqueídes (Vliet *et al.* 1981, Carlquist 1988), raios heterogêneos (Vliet *et al.* 1981) tipicamente unisseriados (Metcalfe & Chalk 1950).

Em geral, o lenho de *Tibouchina* e *Miconia* apresenta ausência de camadas de crescimento e, se estas ocorrem, sua distinção é difícil; os vasos são difusos e solitários, em sua maioria (Ter Welle & Koek-Noorman 1981). As pontoações intervasculares são alternas em *Tibouchina* (Metcalfe & Chalk 1950, Ter Welle & Koek-Noorman 1981, Vliet 1981), podendo ocorrer também escalariformes (Vliet 1981). Em *Miconia*, as pontoações intervasculares também são alternas, podendo ocorrer, esporadicamente, opostas (Ter Welle & Koek-Noorman 1981). As pontoações raio-vasculares são redondas a alongadas; no gênero *Tibouchina* podem ocorrer, algumas vezes, pontoações escalariformes (Ter Welle & Koek-Noorman 1981).

Podem ser vistas fibras com ou sem septos nos dois gêneros, além de fibras gelatinosas (Ter Welle & Koek-Noorman 1981). Vliet (1981) denominou a variabilidade de formas dessas células, em *Tibouchina*, de dimorfismo das fibras, enfatizando, também, a variabilidade das formas de suas terminações. Segundo Ter Welle & Koek-Noorman (1981) a redução na espessura da parede das fibras de *Tibouchina* pode levar a confundi-las com parênquima apotraqueal na secção transversal. Podem ocorrer, nos raios dos dois gêneros, células quadradas, eretas e procumbentes (Ter Welle & Koek-Noorman 1981). Eles são unisseriados (Ter Welle & Koek-Noorman 1981), extremamente finos em

Miconia (Record & Mell 1924), e/ou com duas a quatro em *Tibouchina* (Ter Welle & Koek-Noorman 1981), sendo que, segundo Vliet *et al.* (1981), os raios multisserados são abundantes neste gênero.

Em *Miconia*, segundo Record & Mell (1924), o parênquima axial é ausente ou indistinto. O parênquima paratraqueal, existente nos dois gêneros, é escasso e difuso (Ter Welle & Koek-Noorman 1981), podendo, algumas vezes, apresentar-se em camadas tangenciais em *Tibouchina* (Ter Welle & Koek-Noorman 1981). Tanto o lenho de *Miconia* quanto o de *Tibouchina* pode apresentar depósitos amarelos ou marrons em suas células armazenadoras de substâncias (Ter Welle & Koek-Noorman 1981).

Mazzoni-Viveiros (1996) verificou no lenho de *Tibouchina pulchra*, dentre outras, as seguintes características: camadas de crescimento ocasionalmente presentes, ornamentação na borda da placa de perfuração do elemento de vaso, guarnições tanto na parede do vaso quanto em suas pontoações e sua ausência nas pontoações parênquimo-vasculares, fibras nucleadas, fibras com cavidades intrusivas, cristais no parênquima radial e ocorrência de máculas.

O lenho da espécie *Miconia cinnamomifolia* apresenta, segundo Barros & Callado (1997), camadas de crescimento distintas - demarcadas pelo achatamento radial das fibras e maior espessamento de suas paredes no lenho tardio - ou indistintas, elementos de vasos em arranjos radiais ou em cachos e raios unisseriados e bisseriados, dentre outras características quantitativas.

Ter Welle & Koek-Noorman (1981) e Vliet *et al.* (1981) atribuem a *Miconia* e *Tibouchina* a presença de pseudoparênquima, constituído de fibras com diferentes espessuras de parede, formas e dimensões. IAWA (1989), por sua vez, sugere o termo “faixas ou grupos de fibras semelhantes ao parênquima” a esse mesmo agrupamento. Entretanto, segundo Mazzoni-Viveiros (1996) esse termo é inadequado para *Tibouchina pulchra* pois, além de fibras, o agrupamento apresenta também células parenquimáticas. A autora sugere que esse agrupamento seja denominado fibro-parenquimático na espécie, por ser constituído tanto por células parênquimáticas quanto por fibras.

I.3.3) Plasticidade fenotípica

A plasticidade fenotípica tem sido definida como a habilidade de um organismo individual alterar sua fisiologia e/ou morfologia em resposta a modificações nas condições ambientais (Schlichting 1986).

Para alguns autores as respostas plásticas são necessariamente adaptativas (Schlichting 1986). Sultan (1995), por exemplo, comenta que a plasticidade fenotípica é a principal maneira de adaptação em plantas. O autor explica, ainda, que plasticidade fenotípica adaptativa é a capacidade de um genótipo produzir fenótipos diferentes, funcionalmente apropriados em diferentes ambientes. Portanto, a ocorrência de plasticidade fenotípica depende da existência de variação genética, da mesma forma que salientado por Scheiner (1993).

Segundo Hamrick *et al.* (1979) a variabilidade genética aumenta o fitness em populações de plantas, permitindo que a espécie sobreviva em um gradiente de variação ambiental (Spitze & Sadler 1996).

A quantidade e a distribuição de diversidade genética dentro de populações, segundo Hamrick *et al.* (1979) e Loveless & Hamrick (1984) é resultado de fatores ecológicos e de características da história de vida de cada espécie. O estágio de sucessão, por exemplo, é um dos vários fatores que influenciam a diversidade genética de populações de plantas (Hamrick *et al.* 1979, Loveless & Hamrick 1984).

Autores, tais como Klumpp *et al.* (1994), acreditam que o uso de plantas clonadas contribui para reduzir a variação de resposta das plantas. No entanto, estudos demonstram que até entre clones há respostas distintas. Greve *et al.* (1983, 1985), por exemplo, demonstraram haver respostas diferentes entre vários clones de *Picea abies* sujeitos à fumigação com fluoreto. Eckstein *et al.* (1995), analisando trinta clones também de *Picea abies*, chegaram a afirmar que a maior parte das diferenças anatômicas do lenho encontradas eram decorrentes, primeiramente, dos diferentes patrimônios

genéticos de cada planta, ao invés do fumigação com dióxido de enxofre. Portanto até entre clones de mesma espécie não pode ser descartada a variabilidade da resposta fenotípica.

Como já exposto, no presente trabalho, vários autores verificaram que o lenho é um tecido vegetal passível de alterar suas características frente a determinadas condições ambientais, dentre eles Zimmermann & Brown (1971), Bajas-Morales (1985), Carlquist (1975, 1988), Izuta *et al.* (2001), Villagra & Juñent (1997), Roberts *et al.* (1988), Carlquist & Hoekman (1985), Alves (1995), Luchi (1990, 1998, 2004), Mina-Rodrigues (1986) e Mazzoni-Viveiros (1996).

Estudos anatômicos realizados no lenho de *T. pulchra* demonstraram que a espécie apresenta alta plasticidade fenotípica neste tecido vascular (Mazzoni-Viveiros 1996). Pode ser que essa característica do lenho de *T. pulchra* seja devida ao fato da espécie ser considerada uma pioneira secundária, ou secundária inicial, necessitando de alta plasticidade fenotípica em seu lenho, como em outros tecidos, a fim de ser adaptar às condições ambientais, relativamente hostis, das clareiras e bordas da Mata Atlântica, a que possa estar susceptível, como explicou Sultan (1995). Pelo fato de *M. cinnamomifolia* desempenhar a mesma função ecológica no processo sucessional da Mata Atlântica que *T. pulchra* é de se esperar que ela apresente, também, lenho com alta plasticidade fenotípica.

II) OBJETIVOS

O levantamento apresentado demonstra que a Mata Atlântica é um dos ecossistemas mais ricos em biodiversidade vegetal, apresentando elevado nível de endemismo, e que o lenho é um tecido cujas características anatômicas podem ser indicativas de determinada condição ambiental. Entretanto, o conhecimento da estrutura do lenho de espécies da Mata Atlântica com relação a fatores ambientais é ainda escasso. Este trabalho pretende, portanto, contribuir com o estudo de espécies tropicais que ocorrem em locais extremamente comprometidos pela poluição atmosférica proveniente do complexo industrial de Cubatão, já que o lenho destas pode apresentar estratégias voltadas à adaptação às condições impostas por esse forte estresse antropogênico.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho são:

- Comparar os dados anatômicos do lenho de *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naud. (coleta 1991) e de *Tibouchina pulchra* Cogn. (coleta 2003) - Melastomataceae - com aqueles encontrados em lenho de *Tibouchina pulchra* Cogn. (coleta 1990) por Mazzoni-Viveiros (1996, 2000), levando em consideração as condições atmosféricas de cada período;

- Analisar a plasticidade fenotípica do lenho de *Tibouchina pulchra* Cogn., buscando levantar as características do lenho dessa espécie que são menos plásticas em condições atmosféricas da área controle, visando nortear a análise de possíveis estratégias adaptativas desse tecido aos poluentes atmosféricos;

- Analisar a plasticidade fenotípica dos lenhos de *Tibouchina pulchra* Cogn. e *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naud., através das amostras de lenho coletadas em cada área de estudo, buscando verificar seu comportamento sob diferentes condições atmosféricas;

- Verificar a adequação da metodologia empregada para a análise da plasticidade fenotípica em *Tibouchina pulchra* Cogn. e *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naud.;

- Diagnosticar possíveis estratégias de adaptação aos poluentes atmosféricos no lenho de *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naud. (coleta 1991) e de *Tibouchina pulchra* Cogn. (coleta 2003).

III) MATERIAL E MÉTODOS

III.1) MATERIAL

As espécies *Tibouchina pulchra* Cogn. e *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naud. (sinonímia de *M. pyrifolia* Naud.), pertencentes à família Melastomataceae, foram selecionadas para o presente estudo por serem abundantes tanto na área sob influência da poluição atmosférica, proveniente do pólo industrial de Cubatão, como em áreas protegidas desta poluição, sugerindo serem ambas as espécies tolerantes (Pompéia 1997, 2000, Klumpp *et al.* 2002).

Tibouchina pulchra e *Miconia cinnamomifolia* são consideradas pioneiras dominantes na paisagem das capoeiras da Serra do Mar em São Paulo. Elas apresentam ao mesmo tempo altos índices de valor de importância e uma distribuição ao longo de todo o perfil vertical da Mata Atlântica (Pompéia 1997). Essas espécies acabam apresentando todas as fases de seu ciclo de vida inclusive no Vale do Rio Moji, área altamente afetada pela poluição atmosférica de Cubatão (CETESB 1996).

Foram utilizados nove espécimes de *Miconia cinnamomifolia*, sendo três para cada área (Vale do Rio Pilões, Vale do Rio Moji e Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba). As coletas das amostras de lenho da espécie foram realizadas em 1991. Em 2003 houve uma coleta de nove amostras de lenho de espécimes de *Tibouchina pulchra*, nas mesmas áreas, para analisar o lenho sob condições recentes de poluição atmosférica; além da coleta de outras sete amostras na área controle, totalizando dez amostras a serem utilizadas na análise da plasticidade fenotípica dos seus elementos celulares. Tentou-se, também, coletar mais dez amostras de lenho de espécimes de *M. cinnamomifolia* em 2003, na área controle, entretanto o acesso ao mesmo local de coleta não foi possível e, nas áreas visitadas, não foram encontrados espécimes em número suficiente para a análise. O estudo de plasticidade fenotípica do lenho também foi realizado a partir das nove amostras de *M. cinnamomifolia* e de *Tibouchina pulchra* coletadas nas diferentes áreas de estudo na década de

noventa. As amostras coletadas encontram-se depositadas na Xiloteca do Herbário Maria Eneyda P. Kauffmann Fidalgo do Instituto de Botânica de São Paulo, conforme Tabela 2.

Todo o material foi coletado para ser comparado com aqueles analisados por Mazzoni-Viveiros (1996), coletados em 1990. Sua identificação foi realizada por Dra. Lucia Rossi - Seção de Curadoria do Herbário do Instituto de Botânica.

Tabela 2. Dados referentes aos espécimes e amostras de lenho de *Tibouchina pulchra* e *Miconia cinnamomifolia* coletadas. Perímetro e diâmetro foram medidos a 1,50m de altura a partir do solo. SPw = número da amostra na Xiloteca do Herbário Maria Eneida P. Kauffmann Fidalgo do Instituto de Botânica de São Paulo.

Espécie	Coleta	Local de coleta	SPw	Altura (m)	Perímetro (cm)	Diâmetro (cm)
<i>Miconia cinnamomifolia</i>	1991	Vale do Rio Piões	1251	15	63	18
			1252	12	43	12,5
			1253	10	59,5	17
		Vale do Rio Moji	1252	7	45	15
			1253	7	38	12
			1254	7	45	14
		Parapiacaba	1255	12	54	17,2
			1256	8	51	16,2
			1260	12	59	18,8
<i>Tibouchina pulchra</i>	2003	Vale do Rio Piões	2046	10	28	8,9
			2047	8	24	7,6
			2048	7	14	4,5
			2049	20	99,5	31,7
			2050	8	66	21
			2051	25	87	27,7
			2052	18	120	38,2
			2053	20	58	18,5
			2054	25	78	24,8
			2055	8	84	26,8
		Vale do Rio Moji	2041	5	15	4,8
			2042	15	56	17,8
			2056	10	38	12,1
		Parapiacaba	2043	15	87,5	27,9
			2044	12	50	15,9
			2045	10	49	15,6

II.2) CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

III.2.1) Vale do Rio Pilões

A região do Vale do Rio Pilões (Fig. 1) está localizada no município de Cubatão a uma altitude de 150 metros, sendo caracterizado por uma umidade relativa anual de 87%, uma temperatura média anual de 23°C e uma precipitação média anual de 3000mm (Domingos 1998), com média mensal em torno de 245mm, nos anos de 2002 e 2003 (EMAE 2004). A presença de barreiras topográficas e uma localização fora da direção predominante dos ventos evitam o grande aporte de poluentes atmosféricos oriundos do complexo industrial de Cubatão, o que torna a área caracterizada por apresentar taxas consideradas baixas de poluentes (Leitão Filho 1993, Jaeschke 1997, Pompéia 1997, Mazzoni-Viveiros 1996).

A CETESB, por meio de campanhas de monitoramento da qualidade do ar, demonstrou que Pilões apresenta concentrações de poluentes abaixo daquele estabelecido pela legislação de qualidade do ar do Brasil, o que levou esse órgão a não continuar o monitoramento dessa área (Moraes *et al.* 2003). Vários estudos realizados com espécies nativas da Mata Atlântica também confirmaram que a área de Pilões apresenta baixos níveis de poluentes atmosféricos (Furlan *et al.* 1999, Klumpp *et al.* 1996, 2000a, 2000b, 2002). Klumpp *et al.* (1994) e Furlan *et al.* (1999), em acréscimo, salientaram que os poluentes que ocorrem em Pilões têm sua origem principal de veículos, devido às vias de tráfego que ocorrem em suas redondezas. Medições realizadas durante o ano de 2001 constataram que a área apresentou concentrações abaixo de 0,05ppm para dióxido de enxofre, abaixo de 0,5ppm para gases nitrosos, além de concentrações inferiores a 0,1ppm para fluoretos gasosos (Furlan 2004).

Estudos realizados por Mayer & Lopes (1997), através de medidas das concentrações de fluoretos na água da chuva e na água de solo, provaram que a área de Pilões não recebe fluoretos provenientes do complexo industrial de Cubatão. Análises da superfície foliar de indivíduos de *Tibouchina pulchra*, utilizados em biomonitoramento ativo, em espectrofotômetro acoplado ao microscópio eletrônico de varredura, realizadas por Mazzoni-Viveiros (1996), demonstraram que há

partículas na atmosfera de Pilões, especialmente de potássio, cloro e cálcio, talvez devido às atividades da Sabesp ali instalada.

O Vale do Rio Pilões possui uma vegetação densa, bem desenvolvida e estratificada, em bom estado de conservação, um sub-bosque com baixa luminosidade e alta diversidade florística (SMA 1990, Leitão Filho 1993, Pompéia 1997). As famílias mais abundantes encontradas têm sido Myrtaceae, Lauraceae, Rubiaceae, Euphorbiaceae, Sapotaceae e Melastomataceae (Leitão Filho 1993). Segundo Pompéia (1997), famílias tais como Melastomataceae, Nyctaginaceae, Euphorbiaceae, Sapotaceae, Lauraceae, Myrtaceae, Monimiaceae e Sapindaceae apresentam elevado índice de valor de importância (IVI) nessa área. As espécies *T. pulchra* e *M. cinnamomifolia* ocupam, com respeito ao IVI, respectivamente, as posições de número um e três (Pompéia 1997). Estudos pedológicos indicam que Pilões apresenta solo ácido, mas somente nas camadas mais superficiais (Mayer & Lopes 1997). O Vale do Rio Pilões, pelas características apresentadas, foi considerado área controle no presente trabalho.

III.2.2) Vale do Rio Moji

A região do Vale do Rio Moji (Fig. 1) está localizada no município de Cubatão a uma altitude de 140 metros, apresenta uma precipitação anual média de 2500mm, temperatura anual média de 22°C e uma umidade relativa do ar de 84% (Domingos 1998). Apesar de estar bem próximo a Pilões, Moji é altamente influenciado pela poluição proveniente do complexo industrial de Cubatão, já que se situa na direção predominante dos ventos que passam por suas indústrias (Klumpp *et al.* 1995, CETESB 1996, Moraes *et al.* 2003). Essa influência faz com que Moji seja caracterizada por apresentar altas concentrações de materiais particulados, fluoretos, compostos de nitrogênio e enxofre (Mayer *et al.* 1993, Klumpp *et al.* 1994, Mazzoni-Viveiros 1996, Domingos 1998). Mazzoni-Viveiros (1996) constatou que Moji apresenta partículas à base, especialmente, de silício, potássio, cálcio e ferro. Medições realizadas durante o ano de 2001 constataram que a área apresentou concentrações em torno

de 0,18ppm para dióxido de enxofre, 0,5ppm para gases nitrosos e 0,9ppm para fluoretos gasosos (Furlan 2004).

Devido à intensa poluição atmosférica, a vegetação da Mata Atlântica, presente em Moji, é caracterizada por apresentar sinais visíveis do impacto da poluição, tais como: rebrota a partir das gemas laterais, devido à morte da gema apical; queda das folhas do caule principal; cloroses e necroses; galhos secos; árvores esparsamente distribuídas, não chegando a formar um dossel contínuo (Leitão Filho 1993, Pompéia 1997, Szabo *et al.* 2003).

Há baixa diversidade arbórea e predominância de poucas espécies pioneiras (Leitão Filho 1993, Moraes *et al.* 1995, Pompéia 1997, Domingos 1998, Szabo *et al.* 2003). Em relação ao número de indivíduos, existe uma esmagadora maioria pertencente à família Melastomataceae (Leitão Filho 1993, Pompéia 1997), seguida de Palmae, Cecropiaceae, Moraceae, Sapindaceae, Fabaceae e Myrsinaceae (Leitão Filho 1993). Segundo Pompéia (1997), Melastomataceae, Meliaceae, Arecaceae, Cecropiaceae, Sapindaceae e Rubiaceae, entre outras famílias, apresentam elevado IVI. Dentre as espécies citadas, *T. pulchra* e *M. cinnamomifolia* estão nas duas primeiras posições em IVI, respectivamente (Pompéia 1997). Há diminuição da quantidade de epífitas, aumento de arbustos invasores e verifica-se que os processos sucessionais são dificultados (Leitão Filho 1993, Pompéia 1997).

O desenvolvimento pedológico de Moji é semelhante ao de Pilões tendo, no entanto, solo saturado de ácidos, inclusive nas camadas mais profundas (causando a lixiviação de vários cátions essenciais às plantas) e mais matéria orgânica (Leitão Filho 1993, Mayer *et al.* 1993, Moraes *et al.* 1995, Mayer & Lopes 1997, Szabo *et al.* 2003).

III.2.3) Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba

A Reserva de Paranapiacaba (Fig. 1) está localizada no município de Santo André, sendo mantida, desde 1909, pelo Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo como uma unidade de pesquisa e conservação (De Vuono *et al.* 1989).

A média anual de precipitação é de 3400mm, a de temperatura por volta de 18°C (Funari *et al.* 1986, De Vuono *et al.* 1989) e umidade relativa perto de 100% (De Vuono *et al.* 1989). Essa área tem um dos maiores níveis de precipitação do país e a chuva cai por todo o ano, sem um período seco evidente (De Vuono *et al.* 1989). Paranapiacaba está localizada na borda do planalto, a uma altitude que varia de 750 a 890 metros (De Vuono *et al.* 1989), tendo seus limites coincidindo com o início das escarpas da Serra do Mar, na direção dos ventos provenientes de Cubatão e, portanto, recebendo influências da poluição atmosférica do seu complexo industrial (De Vuono *et al.* 1989, Mazzoni-Viveiros 1996).

Klumpp *et al.* (1995) verificaram que o transporte de fluoretos para essa área demonstrou-se insignificante. Dados obtidos por Domingos (1998) e Klumpp *et al.* (1997) demonstraram haver baixas concentrações de compostos gasosos de enxofre no ar de Paranapiacaba. Entretanto, Mazzoni-Viveiros (1996) verificou o aporte de materiais particulados nas folhas de *T. pulchra* dessa área, principalmente o silício, o potássio, o cálcio e o ferro, vindos, provavelmente, de Cubatão, já que Moji também apresentou a predominância dos mesmos. Domingos (1998) salientou que essa área tem sido atingida por poluentes secundários. De Vuono *et al.* (1989) e Moraes *et al.* (2002) chegaram a comentar que em Paranapiacaba, a Mata Atlântica se encontra parcialmente degradada, principalmente em determinadas regiões em que a poluição é mais intensa. De Vuono *et al.* (1989) e Moraes *et al.* (1995) acrescentaram que nessa área há uma vegetação secundária com alguns testemunhos de mata primária em locais acidentados e de difícil acesso.

Paranapiacaba apresenta solo tão ácido quanto o Vale do Rio Moji, o que pode ser, pelo menos parcialmente, um reflexo da entrada de substâncias antropogênicas através da atmosfera (Mayer & Lopes 1997). Domingos (1998), analisando as folhas de *Tibouchina pulchra*, verificou concentrações

extremamente baixas de potássio, que podiam estar relacionadas à acentuada lixiviação de cátions do solo de Paranapiacaba, devido à sua extrema acidez, como havia sido documentado por Mayer & Lopes (1997).

III.2.4) Poluição atmosférica em 1990 e 2002

Os níveis de poluição atmosférica proveniente do complexo industrial de Cubatão para os anos de 1990 e 2002, que correspondem às condições atmosféricas a que os espécimes de *M. cinnamomifolia* e *T. pulchra* estavam sujeitos antes da coleta, estão descritos na Tabela 3.

Ressalta-se que, enquanto a maioria dos poluentes apresenta menor taxa de emissão em 2002, os óxidos de nitrogênio e de enxofre aumentaram, salientando-se, porém, que no caso dos óxidos de enxofre a taxa em 1990 correspondeu somente ao dióxido de enxofre e em 2002 aos óxidos de enxofre em geral.

Tabela 3. Dados das emissões de poluentes atmosféricos (toneladas/ano) pelo complexo industrial de Cubatão em 1990 e 2002. 1990* = dados obtidos do CETESB (1991); 2002* = dados obtidos do CETESB (2003).

Poluentes	1990*	2002*
Materiais particulados	31,70	6,45
Fluoretos	0,07	0,05
Amônia	0,07	0,05
Óxidos de nitrogênio	17,40	32,22
Hidrocarbonetos	4,00	3,52
Óxidos de enxofre	18,10	25,22

III.3) MÉTODOS

Os métodos aplicados ao lenho de espécimes de *Miconia cinnamomifolia* e *Tibouchina pulchra* correspondem àqueles tradicionais necessários às análises quali e quantitativas de seus elementos celulares em microscopia fotônica e eletrônica de varredura, como se segue.

III.3.1) Microscopia fotônica

III.3.1a) Confecção de lâminas histológicas:

Foram obtidas amostras de lenho na região próxima ao câmbio (alburno), com o auxílio de serrote, martelo e formão, pelo método não destrutivo.

De cada amostra preparou-se um corpo-de-prova com dimensões em torno de 2 cm de largura e 3 cm de comprimento. Os corpos-de-prova foram colocados em bequer com solução de glicerina e água (1:10) e levados à fervura por, aproximadamente, 12 horas, para reidratação e prévio amolecimento.

Após o amolecimento, os corpos-de-prova foram submetidos ao seccionamento em micrótomo de deslize (marca Meopta) para a obtenção de secções transversais e longitudinais (radial e tangencial), com cerca de 15µm de espessura.

Houve a clarificação de metade das secções em hipoclorito de sódio 10%, previamente aquecido. Posteriormente, as secções clarificadas foram lavadas em água corrente, repetidamente, até retirada completa do hipoclorito de sódio. Todas as secções, inclusive as não clarificadas, foram desidratadas através da série etílica crescente (Johansen, 1940).

Houve a coloração com verde de malaquita alcoólico 95% G.L das secções transversais e longitudinais tangenciais clarificadas e com safranina alcoólica 50% G.L. das secções longitudinais radiais clarificadas (Johansen 1940). As secções não clarificadas permaneceram ao natural, sem coloração.

Todas as secções, após a desidratação completa, passaram por solução de álcool/xilol nas proporções de 3:1, 1:1, 1:3 e no xilol puro, antes de serem montadas entre lâminas e lamínulas com resina Permount.

Para a obtenção de macerado, de cada uma das amostras de lenho coletado em cada área (Vale do Rio Pilões, Vale do Rio Moji e Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba), houve a utilização da técnica de Franklin modificada, segundo Normand (1972). Parte de cada amostra foi cortada várias vezes, na forma de palitos de fósforo, sendo, posteriormente, colocada em vidro com tampa de polietileno com solução 1:1 de peróxido de hidrogênio (120-130 volumes) e ácido acético glacial e, posteriormente, devidamente lacrado (com o auxílio de fita crepe) e identificado. Os vidros foram colocados em estufa, à temperatura de 60°C, até total perda de coloração – em média 30 horas – para haver a dissociação da lamela média. Após esse período, os vidros foram retirados da estufa e destampados. Na boca de cada vidro prendeu-se, com o auxílio de elástico, um pedaço de meia de nylon. O conteúdo de cada vidro foi, então, lavado em água corrente até a retirada total da solução macerante. Em seguida, escoou-se bem a água de cada vidro e o material dissociado foi corado com safranina alcoólica 95%. Posteriormente, houve a montagem de lâminas histológicas de tais macerados em glicerina. Antes da colocação de cada lamínula, separou-se ainda mais o material dissociado com a ajuda de dois estiletes finos.

III.3.1b) Medições dos elementos celulares

Foram realizadas medições dos elementos celulares a partir de microscópio Carl Zeiss - Jenamed 2, com ocular micrométrica acoplada a um sistema de medições Retarmed 2.

As medições que exigiram maior dimensão do campo de observação (como frequência de vasos, comprimento de fibras e de elementos de vasos) foram realizadas no microscópio de projeção Carl Zeiss, em câmara escura, segundo Mazzoni-Viveiros (1986).

III.3.1c) Obtenção de ilustrações

Para a obtenção da documentação fotográfica foram utilizados filmes coloridos da Kodak - Asa 100. As fotomicrografias foram obtidas pelo microscópio Carl Jena Zeiss - Jenamed 2, sendo feitas em vários aumentos, obtendo-se para cada um escala micrométrica de referência, também fotografada.

Os desenhos foram realizados com a utilização de câmara clara acoplada ao microscópio Carl Zeiss e com projeção da escala micrométrica.

III.3.2) Microscopia eletrônica de varredura

Foram obtidas secções longitudinais tangenciais e radiais, com espessura de 30µm, de cada amostra coletada da espécie *Miconia cinnamomifolia*, conforme o descrito anteriormente. Elas foram mantidas ao natural, sem passar pelos processos de desidratação etílica e coloração.

As secções foram colocadas entre lâminas, devidamente identificadas, mantidas em estufa à temperatura de 40°C por 48 horas para secagem e, posteriormente, permaneceram em um dessecador.

As secções foram fixadas sobre a superfície de suportes metálicos (“stubs”), com o auxílio de fita adesiva dupla-face e pinça. Os suportes permaneceram em dessecador até a metalização para posterior observação no microscópio eletrônico de varredura Philips XL Series.

III.3.3) Processamento dos dados e análises estatísticas

Os dados das amostras de espécimes provenientes da Reserva do Alto da Serra de Paranapiacaba foram apenas comparados entre si e não foram incluídos na comparação com aqueles dos espécimes do Vale do Rio Moji e Vale do Rio Pilões, uma vez que a área apresenta características diferenciadas, tanto topográficas como referentes aos poluentes presentes.

Todas as características quantitativas analisadas nas amostras de lenho de *Miconia cinnamomifolia* (coleta 1991) e *Tibouchina pulchra* (coletas 1990 e 2003) referentes aos espécimes provenientes do Vale do Rio Pilões (área controle) e do Vale do Rio Moji (área poluída) foram

submetidas ao Teste t, para que pudesse ser feita a devida comparação. Nesse contexto houve a análise estatística conjunta de todos os espécimes (três) de cada área (controle, poluída e Paranapiacaba) para *T. pulchra* (coletas 1990 e 2003) e *M. cinnamomifolia*.

Posteriormente, foram selecionadas as características que apresentaram, mediante o Teste t, diferenças estatísticas significativas entre a área controle e poluída em todo o material analisado - nove amostras de lenho de *T. pulchra* (coleta 1990, conforme Mazzoni-Viveiros 1996), nove de *T. pulchra* (coleta 2003) e nove de *M. cinnamomifolia*. Foram, então, confeccionados gráficos (“box-plots”) para uma melhor análise dos resultados obtidos.

Em seguida, efetuou-se a análise estatística (Teste t) entre as amostras de *Tibouchina pulchra* da coleta 2003 e da coleta 1990 (Mazzoni-Viveiros 1996) de cada uma das áreas (Vale do Rio Pilões, Vale do Rio Moji e Paranapiacaba) para a comparação entre as diferentes épocas.

Para o estudo da plasticidade fenotípica do lenho utilizou-se a análise de variância One Way ANOVA para cada característica que apresentou, mediante o Teste t, diferenças estatísticas significativas entre a área controle e poluída para *T. pulchra* (coletas 1990 e 2003) e *M. cinnamomifolia*. Esse estudo foi realizado com três espécimes de *M. cinnamomifolia* e de *T. pulchra* de cada área de estudo, além de dez espécimes de *Tibouchina pulchra* (coleta 2003) da área controle, para verificar se as características que diferiram significativamente entre área poluída e não poluída também variaram dentro do Vale do Rio Pilões. A seleção das características para a análise da plasticidade do lenho na área controle foi feita tendo-se como base os componentes principais obtidos na análise multivariada realizada por Mazzoni-Viveiros (1996).

Foram utilizados testes estatísticos não-paramétricos (Mann-Witney e Kruskal-Wallis) de acordo com a necessidade. Toda a análise estatística foi efetuada pela utilização do Software SigmaStat versão 2.0.

IV) RESULTADOS

IV.1) LENHO DE *MICONIA CINNAMOMIFOLIA* (DC.) NAUD.

Elementos de vasos: apresentando elevado dimorfismo (Fig. 2, 3, 4 e 5), os elementos de vasos variam de 0,2 - 0,5 - 0,9mm de comprimento, 65,4 - 188,6 - 300,9 μ m de diâmetro, 58,8 - 179,7 - 292 μ m de lume e 2,0 - 4,4 - 10,8 μ m de espessura de parede. A placa de perfuração é simples (Fig. 3, 4, 5 e 6), podendo ter posição terminal (Fig. 2b, c, d, e, f, g, h, i, k, m, 3, 4 e 5) ou lateral (Fig. 2a, e, i, j, l, m, 6); com apêndices em uma extremidade (Fig. 2b, f, m, 3), duas (Fig. 2a, d, e, g, h, i, j, k, l, 4) ou em nenhuma (Fig. 2c, 5). Em secção transversal, os vasos apresentam-se em formato circular a ovalado, com distribuição difusa e, geralmente, encontram-se de solitários a múltiplos de três (Fig. 7 e 8). Eles ocorrem com frequência de 4,0 - 9,8 - 17,0 vasos/mm². Suas paredes são guarnecidas, assim como as pontoações (Fig. 9), que apresentam disposição alterna em ambos os tipos, intervasculares e radio-vasculares (Fig. 10 e 11, respectivamente). As pontoações intervasculares apresentam diâmetro de 2,3 - 5,1 - 8,5 μ m e as radio-vasculares diâmetro de 2,3 - 4,6 - 8,6 μ m.

Agrupamento fibro-parenquimático: caracterizado pela presença de fibras e células parenquimáticas axiais com diâmetro e espessura de parede muito similares; a secção transversal das células é arredondada e há espaços intercelulares que dão o aspecto frouxo ao agrupamento (Fig. 7, 8 e 12).

Máculas: podem ocorrer a partir de células parenquimáticas radiais (Fig. 12).

Camadas de crescimento: presentes ocasionalmente, sendo caracterizadas pelo achatamento de fibras e/ou espessamento das paredes das mesmas (Fig. 8), bem como diferença no diâmetro de vasos.

Parênquima radial: os raios são heterogêneos, compostos por células quadradas, eretas e procumbentes (Fig. 13). Apresenta frequência de 2,0 - 6,0 - 11,0 raios por milímetro, variam de 1,0 - 8,4 - 28,0 células por altura, com 3,4 - 14,5 - 31,3 μ m de largura e de 1,0 - 1,1 - 2,0 células por largura. Ocasionalmente, raios fusionados podem ocorrer (Fig. 14).

Parênquima axial: constituído por séries parenquimáticas de até seis células (Fig. 14), sendo o parênquima apotraqueal difuso mais freqüente que o paratraqueal escasso (Fig. 7 e 8).

Fibras: fibrotraqueídes; podem ser gelatinosas (Fig. 15), nucleadas ou não (Fig. 4 , 16A e B), septadas ou não (Fig. 16B e A, respectivamente); variam de 0,5 - 0,8 - 1,1mm de comprimento, de 11,0 - 21,5 - 34,6µm de diâmetro, com lume variando de 2,6 - 11,6 - 24,4µm de largura e com paredes de 2,1 - 4,9 - 9,0µm de espessura. Apresentam dimorfismo (Fig. 16A e B), ocorrendo formas semelhantes às células parenquimáticas (Fig. 16A*); podendo apresentar contorno irregular e extremidades de formas bem variadas, de agudas a ramificadas (Fig. 16A e B).

IV.2) COMPARAÇÃO DOS DADOS NAS ESPÉCIES ESTUDADAS

Dentre as características qualitativas verificadas no lenho de *M. cinnamomifolia* e de *T. pulchra*, algumas se mantiveram semelhantes, entre as diferentes áreas de coleta, e outras apresentaram variação (Fig. 17 a 38).

As amostras de *M. cinnamomifolia* da área poluída e da área de Paranapiacaba, em relação à área controle, apresentaram-se com vasos de menor calibre e geralmente agrupados; os agrupamentos fibro-parenquimáticos apresentaram-se bem visíveis somente nas amostras da área controle e da área de Paranapiacaba (Fig. 17, 18 e 19). Fibras gelatinosas foram verificadas nas amostras das três áreas (Fig. 20, 21 e 22), assim como as camadas de crescimento (Fig. 17, 18, 19 e 23). Vasos múltiplos de quatro e células perfuradas de raio foram verificados quase que exclusivamente nas amostras de lenho da área poluída (Fig. 24 e 25). As guarnições das pontoações e da parede dos elementos de vasos apresentaram-se com grau de elaboração semelhante nas amostras de *M. cinnamomifolia* das áreas poluída e controle (Fig. 35, 36, 37 e 38).

As amostras de *T. pulchra* provenientes de espécimes coletados em 2003, das três áreas, apresentaram-se muito semelhantes, com agrupamentos fibro-parenquimáticos visíveis, vasos

múltiplos e de pequeno calibre (Fig. 26, 27, 28, 29, 30 e 31). As fibras gelatinosas apresentaram-se abundantes na área de Paranapiacaba (Fig. 31). Diferentemente das amostras da área controle, o lenho desses espécimes, na área poluída e na de Paranapiacaba, apresentaram raios multisseriados (Fig. 32, 33 e 34).

As amostras do lenho de *M. cinnamomifolia* e *T. pulchra* (coletas 1990 e 2003), provenientes da área poluída apresentaram vasos em maior quantidade, mais estreitos e elementos de vasos menores, paredes de fibras e vasos mais finas, maior frequência de raios e menor comprimento de fibras (Tabelas 4 e 5, Fig. 39, 40, 41, 42, 43 e 44). Entretanto, a característica frequência de vasos solitários e geminados apresentou resposta distinta entre as amostras: nos espécimes de *M. cinnamomifolia* e *T. pulchra* - coleta 1990, os vasos tenderam ao agrupamento (havendo mais vasos geminados e menos solitários na área poluída, em relação à área controle); nos espécimes de *T. pulchra* - coleta 2003, por sua vez, apresentou mais vasos solitários e menos vasos geminados na área poluída, em relação à área controle (Tabelas 4 e 5, Fig. 40, 42 e 44).

As amostras do lenho de *T. pulchra* da coleta 2003 na área controle, poluída e de Paranapiacaba, quando comparadas àquelas da coleta 1990 apresentaram: vasos em maior quantidade e em menor diâmetro, menor quantidade de raios, bem como menor espessura de parede de vaso e comprimento de fibra (Fig. 45, 46, 47, 48, 49 e 50). Na coleta de 2003, proveniente de Paranapiacaba, o comprimento de elemento de vaso, ao contrário das amostras da área poluída e controle, demonstrou-se significativamente menor do que das amostras da coleta 1990, não havendo diferença estatisticamente significativa para frequência de vasos e de fibras mais finas, embora a menor espessura de parede de fibras não ter sido estatisticamente significativa, além de fibras menores (Fig. 45 e 46). A frequência de raios, em espécimes da coleta 2003, apresentou-se menor que na coleta de 1990, como demonstra a Figura 46.

Verifica-se, pela análise das Figuras 47 e 48, um aumento significativo da frequência de vasos, inclusive de vasos solitários e geminados, bem como uma redução em seu diâmetro no material coletado em 2003, em relação ao coletado em 1990.

Também em Paranapiacaba, verifica-se uma acentuação nas características relacionadas à garantia do fluxo hídrico em espécimes de *T. pulchra* da coleta 2003, em relação à coleta 1990: maior frequência de vasos, bem como seu menor diâmetro, elementos de vasos e fibras menores. Há, também, a acentuação de uma característica relacionada a um possível estresse nutricional, a ocorrência de paredes de vaso mais finas, embora tenha ocorrido, conjuntamente, uma menor frequência de raios e maior espessura de parede de fibra nos espécimes da coleta 2003 (Figuras 49 e 50).

Comparando-se as tendências observadas em cada amostra estudada, conforme Tabela 5, verifica-se que algumas das características quantitativas do lenho mostram as mesmas tendências nas duas espécies e nos dois períodos avaliados, aumentando (frequência de vasos e de raios; altura do raio em número de células) ou reduzindo (porcentagem de vasos múltiplos de quatro ou mais; diâmetro e comprimento de vaso; diâmetro, comprimento e espessura de parede de fibra) o valor do parâmetro avaliado.

Os dados referentes à análise de plasticidade fenotípica efetuada em amostras de lenho de *M. cinnamomifolia* e *T. pulchra* (coleta 2003) encontram-se nas Tabelas 6 a 10 e nas Fig. 51 a 56, onde se verificou que todas as características analisadas apresentaram-se plásticas quando se compararam todos os tipos de análises.

Verifica-se, pela Tabela 6, que as únicas características do lenho que não se demonstraram plásticas nos dez espécimes de *T. pulchra* da área controle, coleta 2003, foram frequência dos vasos geminados, comprimento e espessura de parede das fibras, comprimento e frequência dos raios. Dessas cinco características não plásticas, quatro delas variaram significativamente entre os espécimes da área controle e poluída para *M. cinnamomifolia* e *T. pulchra* - frequência dos vasos geminados,

comprimento das fibras, espessura de parede das fibras e frequência dos raios - mostrando serem boas características do lenho para estudos de avaliação de impacto dos poluentes atmosféricos nessas espécies (Tabela 4).

Pela comparação da Tabela 6 com a Tabela 7, esta última referente somente aos três espécimes de *T. pulchra* da área controle, coleta 2003, verificam-se respostas distintas no lenho no que se refere ao tamanho do lume do vaso, frequência de vasos geminados, comprimento e espessura da parede da fibra. Somente o comprimento e a frequência do raio mantiveram-se não plásticos.

As Tabelas 8 e 10, referentes, respectivamente, às amostras de nove espécimes, de *T. pulchra* (coleta 2003) e *M. cinnamomifolia* (coleta 1991), sendo três de cada área em estudo, demonstram haver mais características plásticas no lenho na segunda quando os espécimes estão sujeitos a uma maior amplitude de variação nas condições ambientais. Já pela Tabela 9 verifica-se que os três espécimes de *M. cinnamomifolia* coletados na área controle apresentaram um menor número de características plásticas do que os de *T. pulchra* (Tabela 7).

A análise das Figuras 51 a 56 demonstra que todas essas características são bastante plásticas quando cada espécime é considerado separadamente, porém com tendências definidas quando analisadas levando-se em consideração a população de cada área.

Tabela 4: Resultado da análise das características quantitativas das amostras estudadas, através da comparação dos dados da área poluída e controle. 1 = área controle, 2 = área poluída, x = média, P = probabilidade. Características em negrito foram utilizadas para a confecção dos gráficos, por apresentarem $p < 0,05$ e, portanto, diferenças significativas entre as áreas.

CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS		Teste t	<i>Miconia</i> <i>cinnamomifolia</i> (coleta 1991)		<i>Tibouchina pubhra</i> Mazzoni-Muehlen (1999) (coleta 1990)		<i>Tibouchina pubhra</i> (coleta 2003)	
			Pilões ¹	Mojí ²	Pilões ¹	Mojí ²	Pilões ¹	Mojí ²
VASOS	por mm ²	$\bar{x}$ P	9,807 <0,001	13,5	12,727 <0,001	18,207	20,767 <0,001	24,267
	% de solitários	$\bar{x}$ P	68,032 <0,001	59,985	74,636 <0,001	63,067	68,304 <0,001	74,081
	% de geminados	$\bar{x}$ P	26,834 <0,001	36,512	14,125 <0,001	23,709	21,956 0,003	17,975
	% de múltiplos de 3	$\bar{x}$ P	4,789 0,081	3,205	7,071 0,028	9,789	7,24 0,418	6,593
	% de múlt. de 4 ou +	$\bar{x}$ P	0,346 0,838	0,293	4,174 0,464	3,441	2,499 0,163	1,75
	diâmetro (µm)	$\bar{x}$ P	188,617 <0,001	150,604	144,161 <0,001	127,629	104,175 <0,001	94,311
	esp. de parede (µm)	$\bar{x}$ P	4,414 <0,001	3,31	3,208 0,04	3,014	2,538 0,008	2,84
	comp. de elemento (mm)	$\bar{x}$ P	0,556 <0,001	0,435	0,528 <0,001	0,46	0,605 <0,001	0,495
	comp. de apêndice (mm)	$\bar{x}$ P	0,0783 0,584	0,0832	0,0921 0,812	0,0898	0,147 <0,001	0,113
FIBRAS	diâmetro (µm)	$\bar{x}$ P	21,475 <0,001	20,013	24,831 0,007	23,146	25,773 0,121	24,737
	comprimento (mm)	$\bar{x}$ P	0,766 <0,001	0,633	0,847 <0,001	0,739	0,765 <0,001	0,639
	lume (µm)	$\bar{x}$ P	11,599 0,285	12,043	17,644 0,133	16,77	17,999 0,678	17,743
	esp. de parede (µm)	$\bar{x}$ P	4,937 <0,001	3,983	4,023 0,03	3,346	3,887 0,012	3,497
RAIOS	altura por n° de células	$\bar{x}$ P	8,373 0,588	8,513	8,27 0,24	8,67	9,287 0,994	9,72
	largura por n° de células	$\bar{x}$ P	1,063 0,888	1,07	2,01 0,09	1,88	1,853 0,003	2,093
	diâmetro (µm)	$\bar{x}$ P	14,546 0,013	15,38	14,66 0,004	12,527	27,531 <0,001	34,087
	por mm	$\bar{x}$ P	6,133 <0,001	6,853	5,577 <0,001	9,217	3,823 0,011	4,063
PONTUAÇÕES	intervascular (µm)	$\bar{x}$ P	5,061 <0,001	5,563	9,791 0,144	9,512	9,993 0,986	9,989
	radiovascular (µm)	$\bar{x}$ P	4,565 0,002	4,952	-	-	12,768 0,845	12,641

Tabela 5. Tendências observadas no lenho para cada característica analisada em *Tibouchina pulchra* e *Miconia cinnamomifolia* com o aumento da poluição atmosférica. + = maior valor obtido na área poluída, - = menor valor obtido na área poluída; ↑ / ↓ = tendência no aumento/ diminuição do parâmetro com o aumento da poluição para **todas** as coletas, ↑ / ↓ = tendência no aumento/ diminuição do parâmetro com o aumento da poluição para a **maioria** das coletas, ↑↓ = tendências inversas do parâmetro com o aumento da poluição entre as coletas.

CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS		<i>Miconia cinnamomifolia</i> (coleta 1991)	<i>Tibouchina pulchra</i> Mazzoni et al. (1996) (coleta 1990)	<i>Tibouchina pulchra</i> (coleta 2003)	Tendência geral
VASOS	por mm ²	+	+	+	↑
	% de solitários	-	-	+	↓
	% de geminados	+	+	-	↑
	% de múltiplos de 3	-	+	-	↓
	% de múlt. de 4 ou +	-	-	-	↓
	diâmetro (µm)	-	-	-	↓
	esp. de parede (µm)	-	-	+	↓
	comp. elemento (mm)	-	-	-	↓
	comp. apêndice (mm)	+	-	-	↓
FIBRAS	diâmetro (µm)	-	-	-	↓
	comprimento (mm)	-	-	-	↓
	lume (µm)	+	-	-	↓
	esp. de parede (µm)	-	-	-	↓
RAIOS	altura por n° células	+	+	+	↑
	largura por n° células	+	-	+	↑
	diâmetro (µm)	+	-	+	↑
	por mm	+	+	+	↑
DENTOAÇÃO	intervascular (µm)	+	-	-	↓
	radiovascular (µm)	+		-	↑↓

Tabela 6. Estudo de plasticidade fenotípica do lenho realizado em dez espécimes de *Tibouchina pulchra* da área controle – coleta 2003, com n = 3 para cada característica, através do Teste One Way Anova ou Kruskal-Wallis (*). (+ = presença; - = ausência)

Características		Média	P	Plasticidade
Vaso	frequência	16,26	0,002	+
	diâmetro	189,41	<0,001	+
	espessura de parede	3,23	0,013	+
	comprimento do elemento	0,46	<0,001	+
	lume	180,7	<0,001	+
	% de vasos geminados(*)	33,06	0,116	-
	% de vasos solitários	59,41	0,003	+
Fibra	diâmetro	28,3	0,016	+
	lume	20,32	0,011	+
	comprimento	0,74	0,111	-
	espessura de parede	3,49	0,62	-
Raio	comprimento (em n° de células)	23,56	0,156	-
	frequência	3,69	0,362	-
	largura(*)	47,32	<0,001	+

Tabela 7. Estudo de plasticidade fenotípica do lenho realizado em três espécimes de *Tibouchina pulchra* da área controle – coleta 2003, com n = 50 para cada característica, exceto para frequência de raio cujo n = 100, através do Teste One Way Anova ou Kruskal-Wallis (*). (+ = presença; - = ausência)

Características		Média	P	Plasticidade
Vaso	frequência(*)	20,76	<0,001	+
	diâmetro	104,17	<0,001	+
	espessura de parede(*)	2,53	<0,001	+
	comprimento do elemento(*)	0,6	<0,001	+
	lume(*)	96,41	0,287	-
	% de vasos geminados	21,95	<0,001	+
	% de vasos solitários(*)	68,3	<0,001	+
Fibra	diâmetro	25,77	<0,001	+
	lume	17,99	<0,001	+
	comprimento	0,76	<0,001	+
	espessura de parede	3,88	0,014	+
Raio	comprimento (n° de células)(*)	9,28	0,13	-
	frequência(*)	3,823	0,305	-
	largura	27,53	0,06	-

Tabela 8. Estudo de plasticidade fenotípica do lenho realizado em nove espécimes de *Tibouchina pulchra* (3 - área controle; 3 - área poluída; 3 - Paranapiacaba) – coleta 2003, com n = 50 para cada característica, exceto para frequência de raio cujo n = 100, através do Teste One Way Anova ou Kruskal-Wallis (*). (+ = presença; - = ausência)

Características		Média	P	Plasticidade
Vaso	frequência(°)	20,3	<0,001	+
	diâmetro	109,02	<0,001	+
	espessura de parede	2,53	0,001	+
	comprimento do elemento	0,52	<0,001	+
	lume	103,96	0,125	-
	% de vasos geminados(°)	29,66	<0,001	+
	% de vasos solitários	60,68	0,001	+
Fibra	diâmetro	25,37	0,215	-
	lume	18,01	0,652	-
	comprimento(°)	0,66	<0,001	+
	espessura de parede	3,66	<0,001	+
Raio	comprimento (n° de células)(°)	16,69	<0,001	+
	frequência(°)	3,71	<0,001	+
	largura(°)	16,78	<0,001	+

Tabela 9. Estudo de plasticidade fenotípica do lenho realizado em três espécimes de *Miconia cinnamomifolia* da área controle – coleta 1991, com n = 50 para cada característica, exceto para frequência de raio cujo n = 100, através do Teste One Way Anova ou Kruskal-Wallis (*). (+ = presença; - = ausência)

	Características	Média	P	Plasticidade
Vaso	frequência(°)	9,8	<0,001	+
	diâmetro(°)	188,61	0,121	-
	espessura de parede(°)	4,41	0,121	-
	comprimento do elemento lúmen(°)	0,55	0,476	-
	% de vasos geminados(°)	179,14	0,114	-
	% de vasos solitários(°)	26,83	<0,001	+
		68,03	<0,001	+
Fibra	diâmetro(°)	21,47	0,542	-
	lúmen	11,59	0,175	-
	comprimento	0,76	0,994	-
	espessura de parede	4,93	<0,001	+
Raio	comprimento (n° de células)(°)	8,37	<0,001	+
	frequência(°)	6,13	<0,001	+
	largura(°)	14,54	0,018	+

Tabela 10. Estudo de plasticidade fenotípica do lenho realizado em nove espécimes de *Miconia cinnamomifolia* (3 - área controle; 3 - área poluída; 3 – Paranapiacaba) – coleta 1991, com n = 50 para cada característica, exceto para frequência de raio cujo n = 100, através do Teste One Way Anova ou Kruskal-Wallis (*). (+ = presença; - = ausência)

	Características	Média	P	Plasticidade
Vaso	frequência(°)	22,27	<0,001	+
	diâmetro	131,45	<0,001	+
	espessura de parede	2,65	0,001	+
	comprimento do elemento(°)	0,512	0,001	+
	lúmen	123,16	<0,001	+
	% de vasos geminados(°)	31,46	<0,001	+
	% de vasos solitários	64,83	0,001	+
Fibra	diâmetro	21,41	<0,001	+
	lúmen(°)	12,09	0,051	-
	comprimento	0,71	0,001	+
	espessura de parede	3,68	<0,001	+
Raio	comprimento (n° de células)(°)	8,445	<0,001	+
	frequência(°)	3,69	<0,001	+
	largura(°)	16,8	<0,001	+

IV.3) FIGURAS

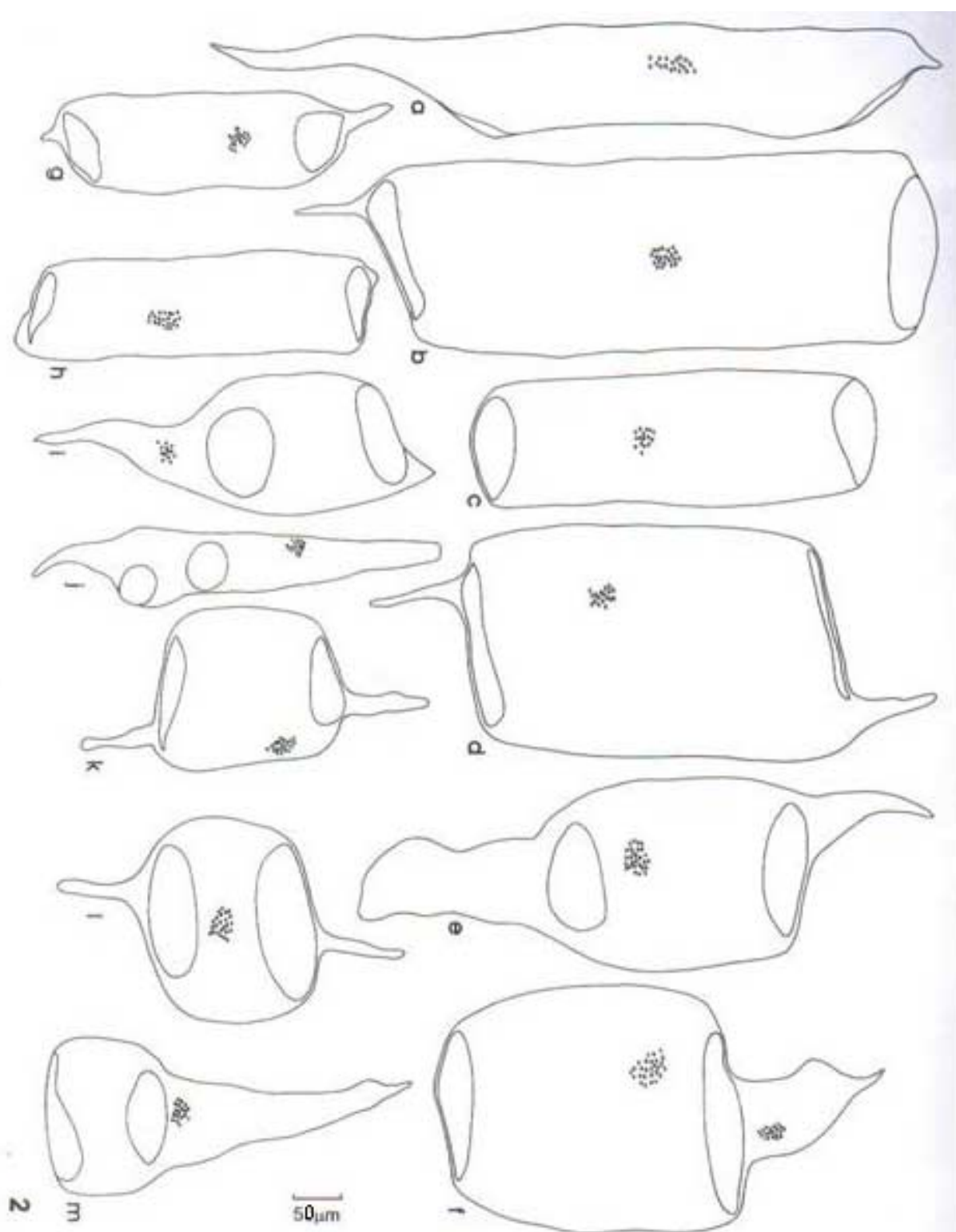
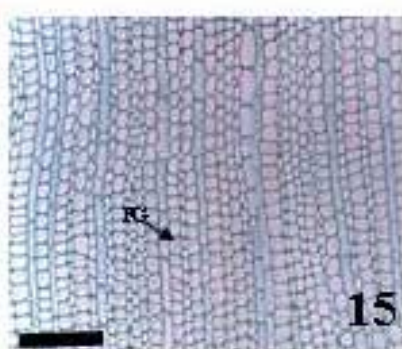
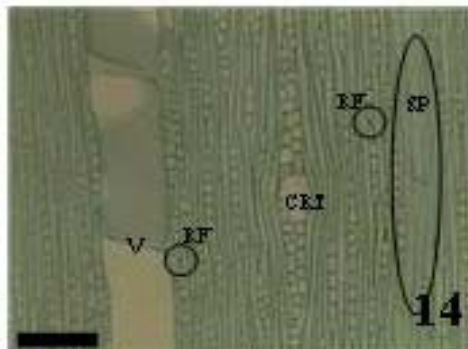
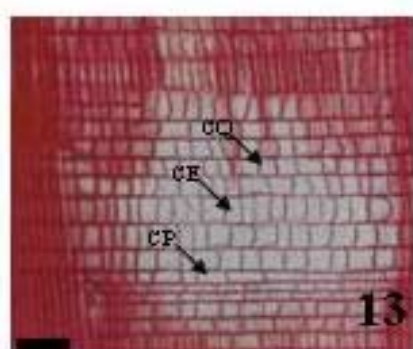
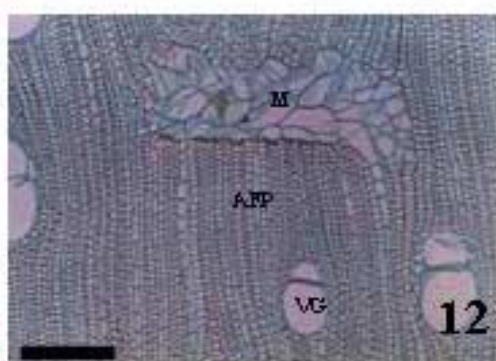
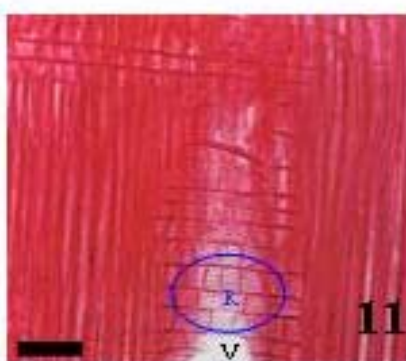
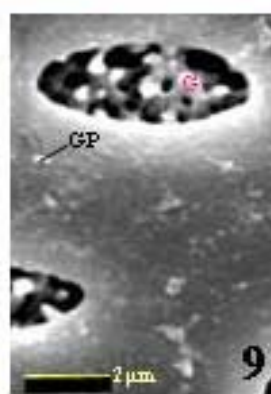
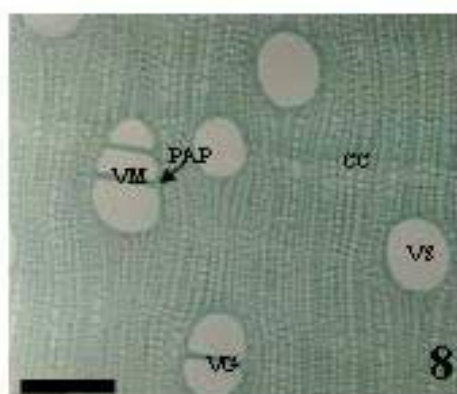
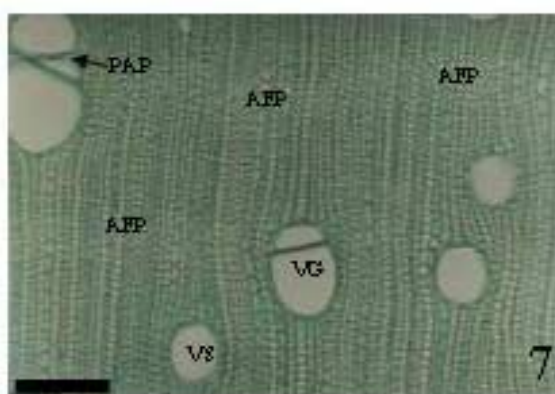
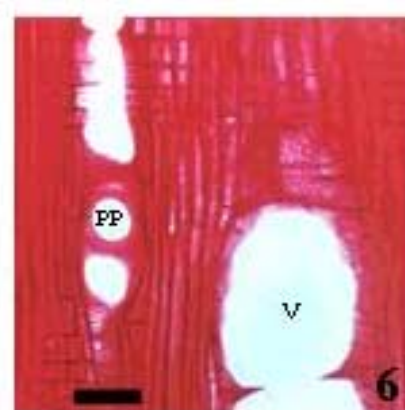
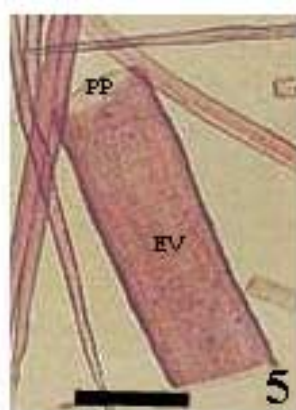
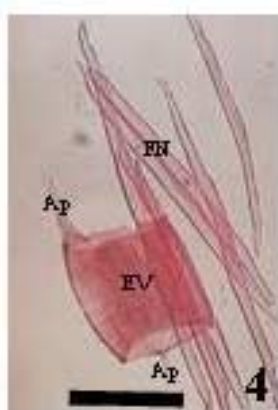
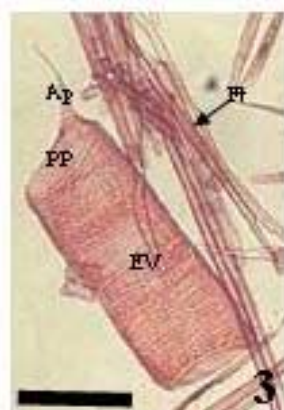


Figura 2. Elementos de vaso dissociados do lenho de espécimes de *Miconia cinnamomifolia* da área controle, apresentando elevado dimorfismo. Fig. 2a, e, i, j, l, m. Presença de placa de perfuração lateral. Fig. 2b, c, d, e, f, g, h, i, k, m. Presença de placa de perfuração terminal. Fig. 2a, b, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m. Presença de apêndices em uma (b, f, m) ou ambas extremidades.



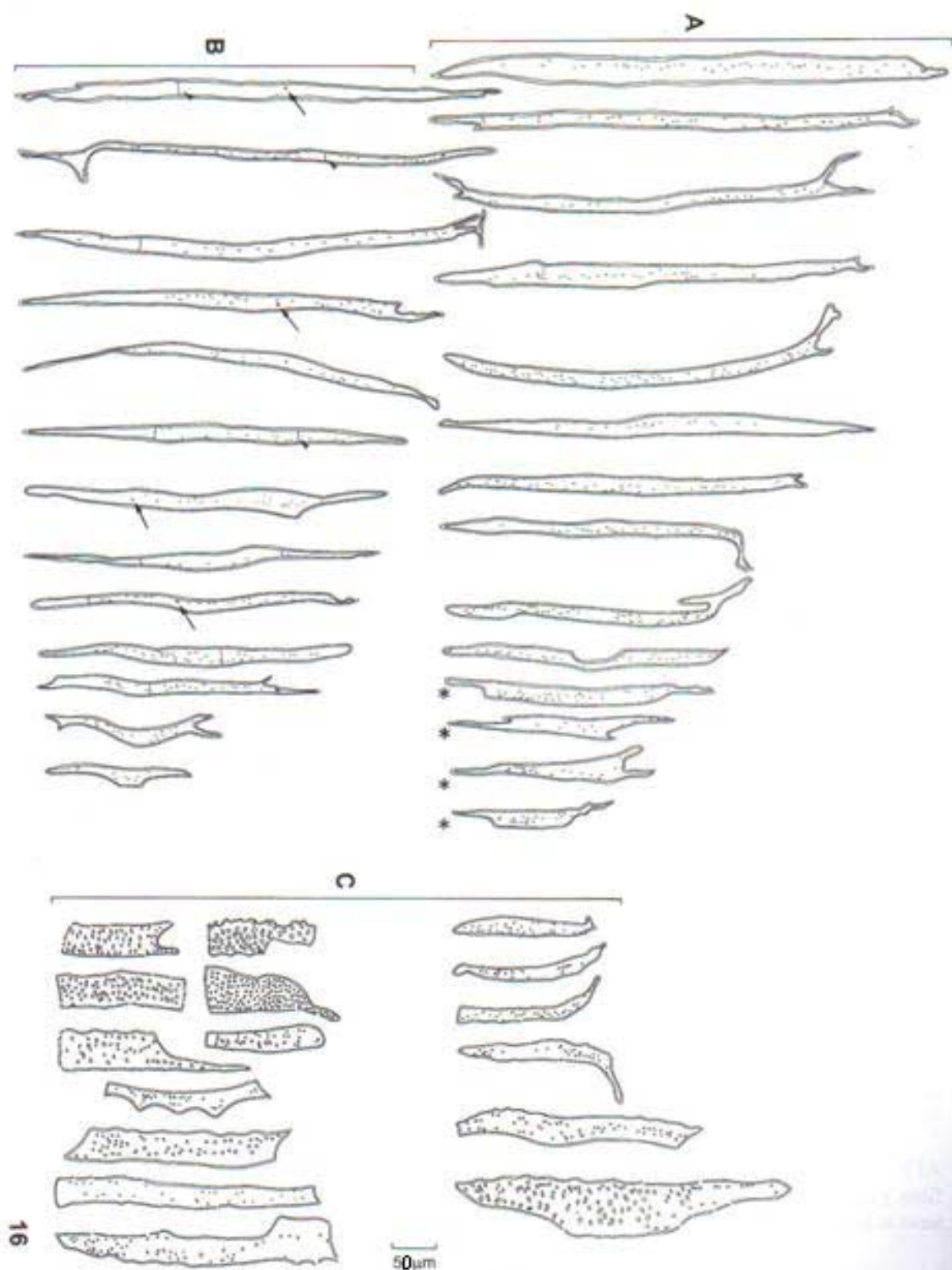
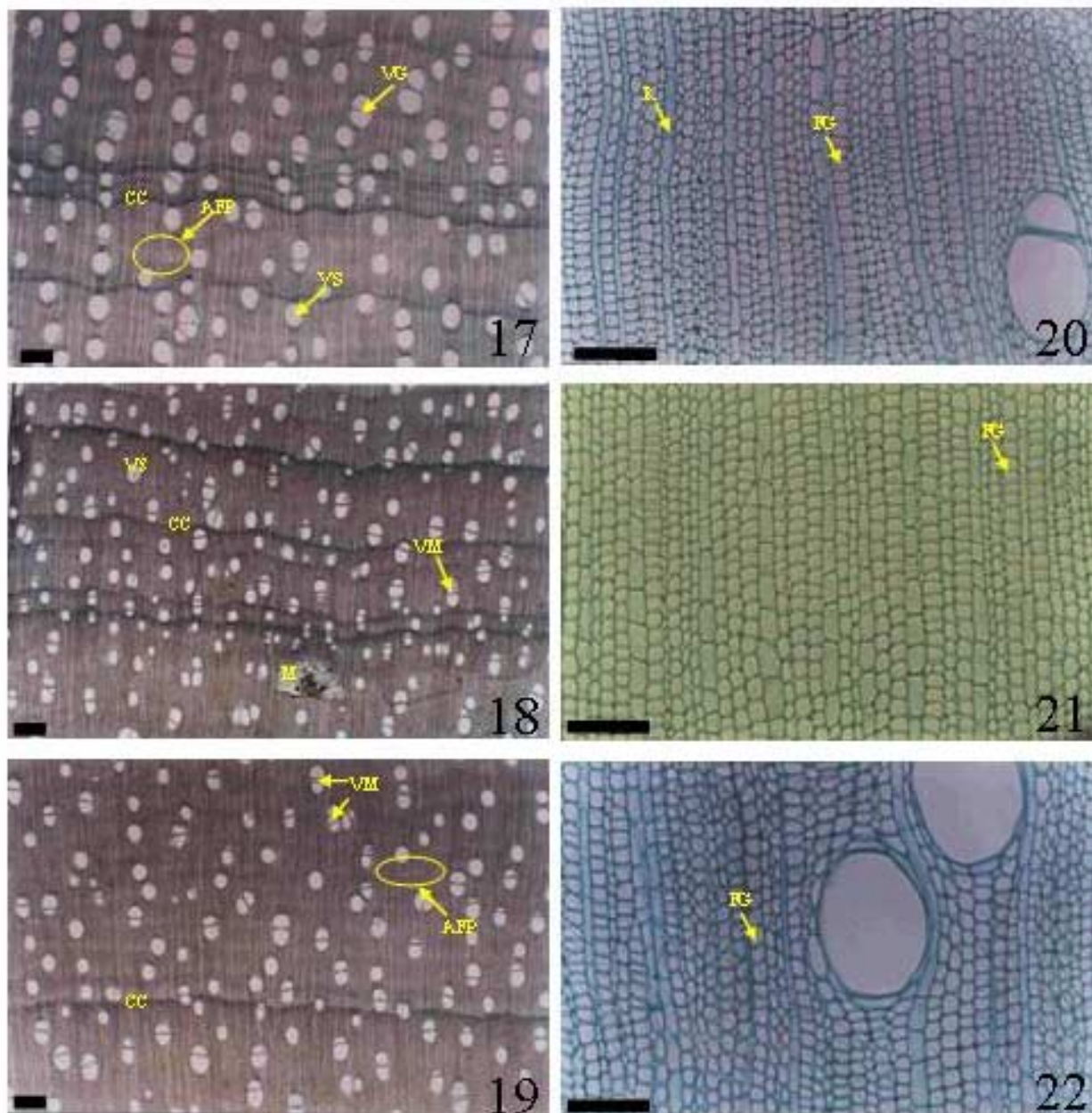
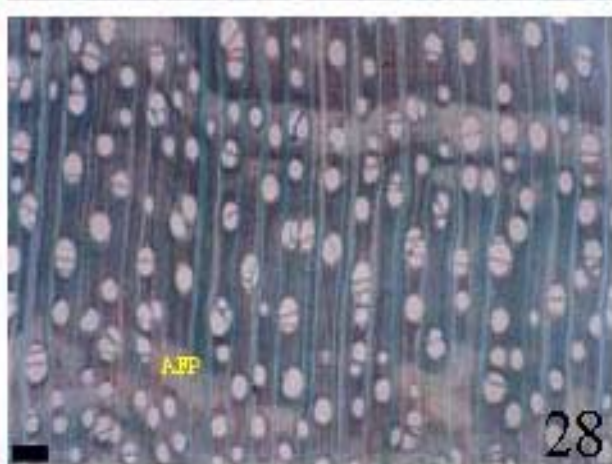
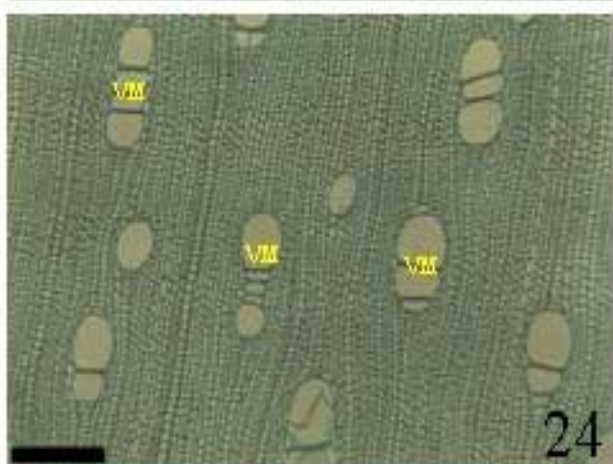
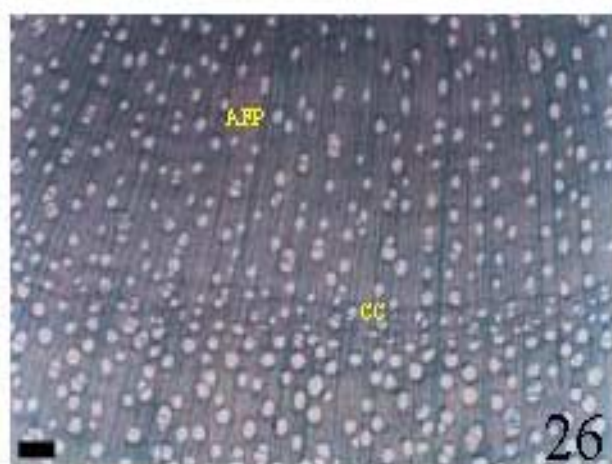
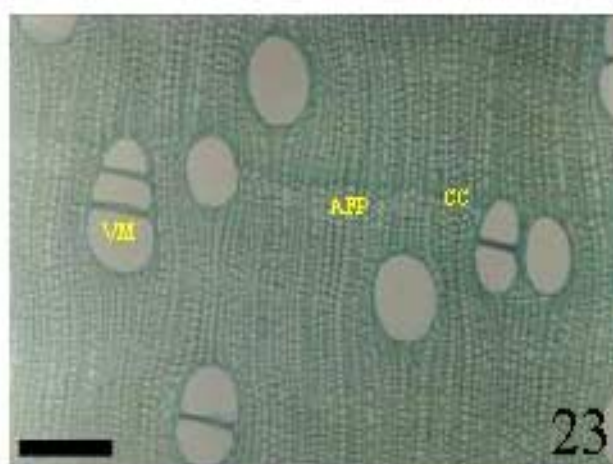


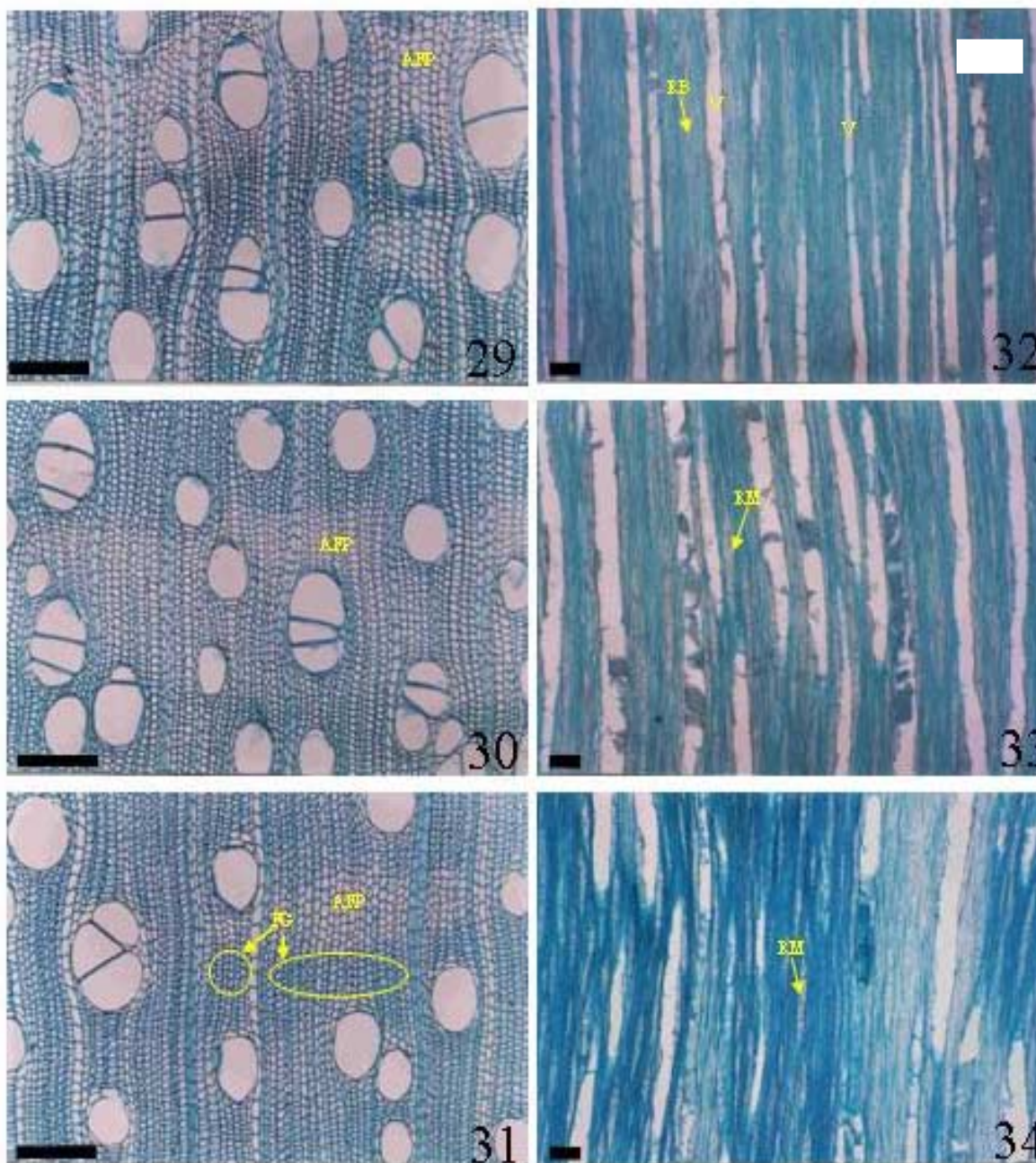
Figura 16. Elementos celulares (fibras e células parenquimáticas) dissociados do lenho de espécimes de *Miconia cinnamomifolia* da área controle. Fig. 16A. Fibras não septadas e anucleadas com extremidades de formas diversas, inclusive com aspecto semelhante às células parenquimáticas (*). Fig. 16B. Fibras septadas e/ou nucleadas com extremidades de formas diversas. Fig. 16C. Células parenquimáticas apresentando formas diversas. Seta = núcleo; cabeça de seta = septo.



Figuras 17 a 22. Fotomicrografias de seções transversais do lenho de espécimes de *Annona cinnamomifolia*. Fig. 17 e 20. Espécimes do Vale do Rio Pilões (área controle). Fig. 18 e 21. Espécimes do Vale do Rio Moji (área poluída). Fig. 19 e 22. Espécimes da área de Paranapiacaba. Barra = 300µm (Fig. 17 a 19); barra = 100µm (Fig. 20 a 22).

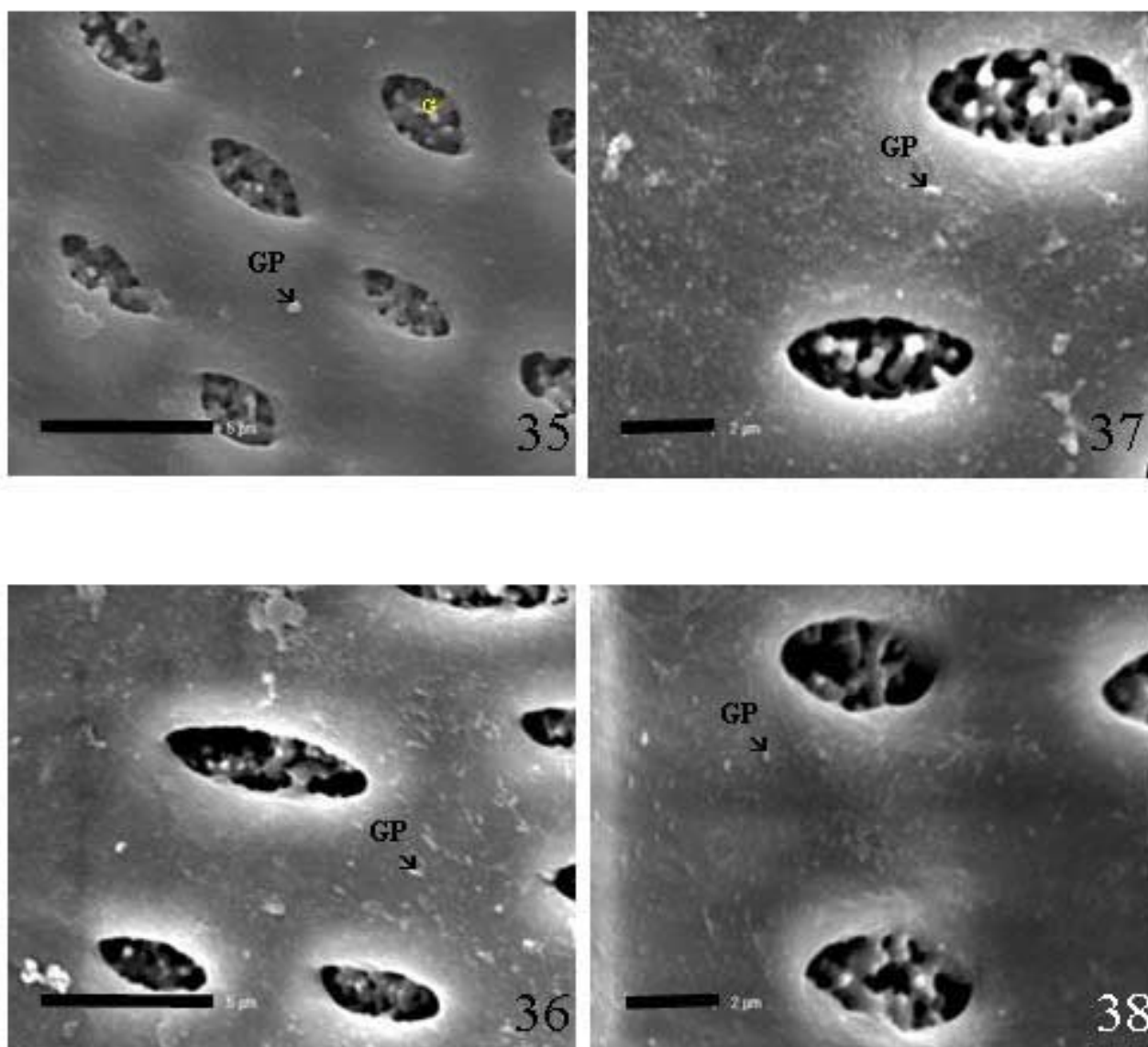
AFP = agrupamento fibro-parenquimático; CC = delimitação de camada de crescimento; FG = fibra gelatinosa; M = mácula; R = raio; VG = vaso geminado; VM = vaso múltiplo; VS = vaso solitário.





Figuras 23 a 28. Fotomicrografias do lenho de *Miconia cinnamomifolia* (Fig. 23 a 25) e *Tibouchina pulchra* (coleta 2003) (Fig. 26 a 28). Fig. 23 e 24. Secções transversais do lenho de espécimes do Vale do Rio Pilões (área controle) e Vale do Rio Moji (área poluída), respectivamente (Barra = 200µm). Fig. 25. Secção longitudinal radial do lenho de espécime do Vale do Rio Moji (área poluída) (Barra = 100µm). Fig. 26, 27 e 28. Secções transversais do lenho de espécimes de *T. pulchra* (coleta 2003) do Vale do Rio Pilões (área controle), Vale do Rio Moji (área poluída) e de Paranapiacaba, respectivamente (Barra = 300µm).

AFP = agrupamento fibro-parenquimático; CC = delimitação de camada de crescimento; CPR = célula perfurada de raio; VM = vaso múltiplo.



Figuras 35 a 38. Eletromicrografias de varredura do lenho de espécimes de *Miconia cinnamomifolia*, destacando as pontoações intervasculares guarnecidas (G) e as guarnições de parede (GP). Figuras 35 e 37. Lenho de espécimes do Vale do Rio Pilões (área controle). Figuras 36 e 38. Lenho de espécimes do Vale do Rio Moji (área poluída).

G = guarnições; GP = guarnição de parede.

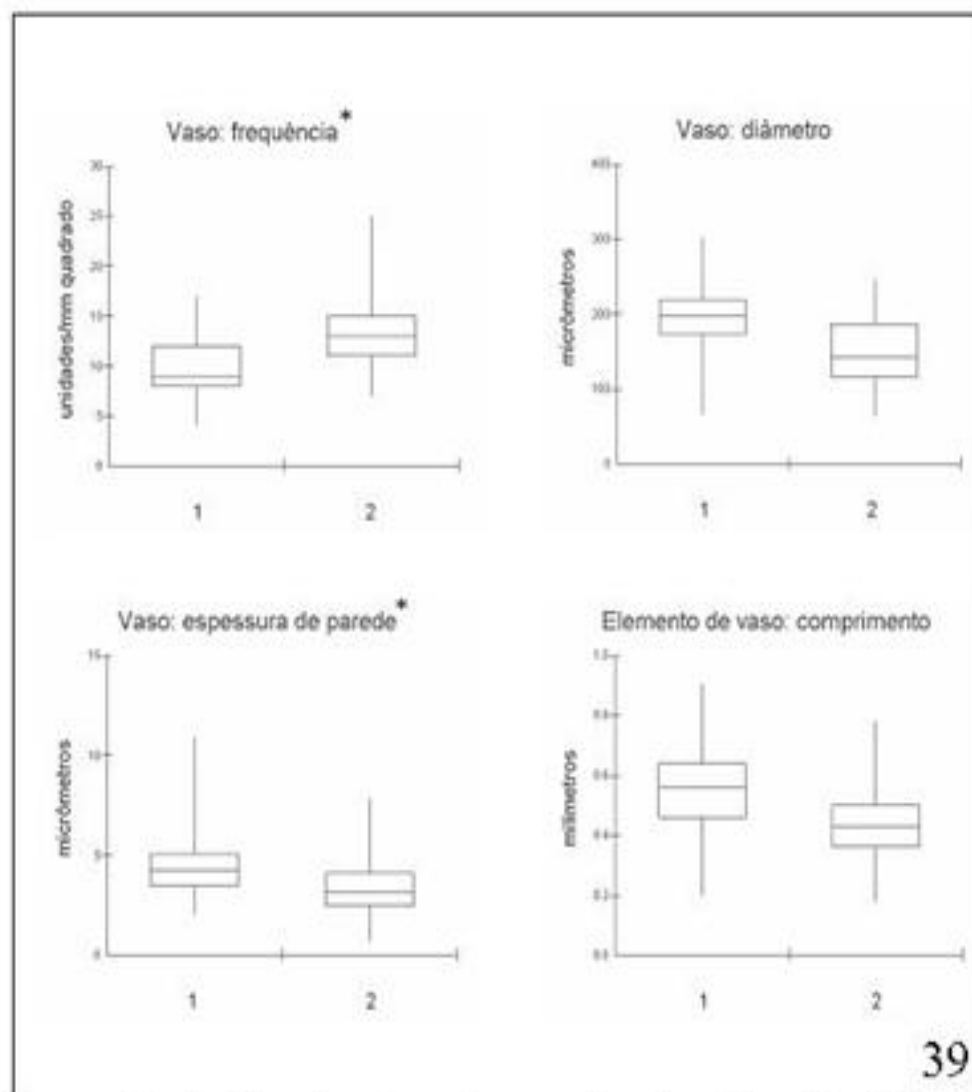


Figura 39. Análise descritiva das amostras do lenho de *Miconia cinnamomifolia* provenientes da área controle (1) e poluída (2), para as características frequência, diâmetro, espessura de parede e comprimento de elemento de vaso. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

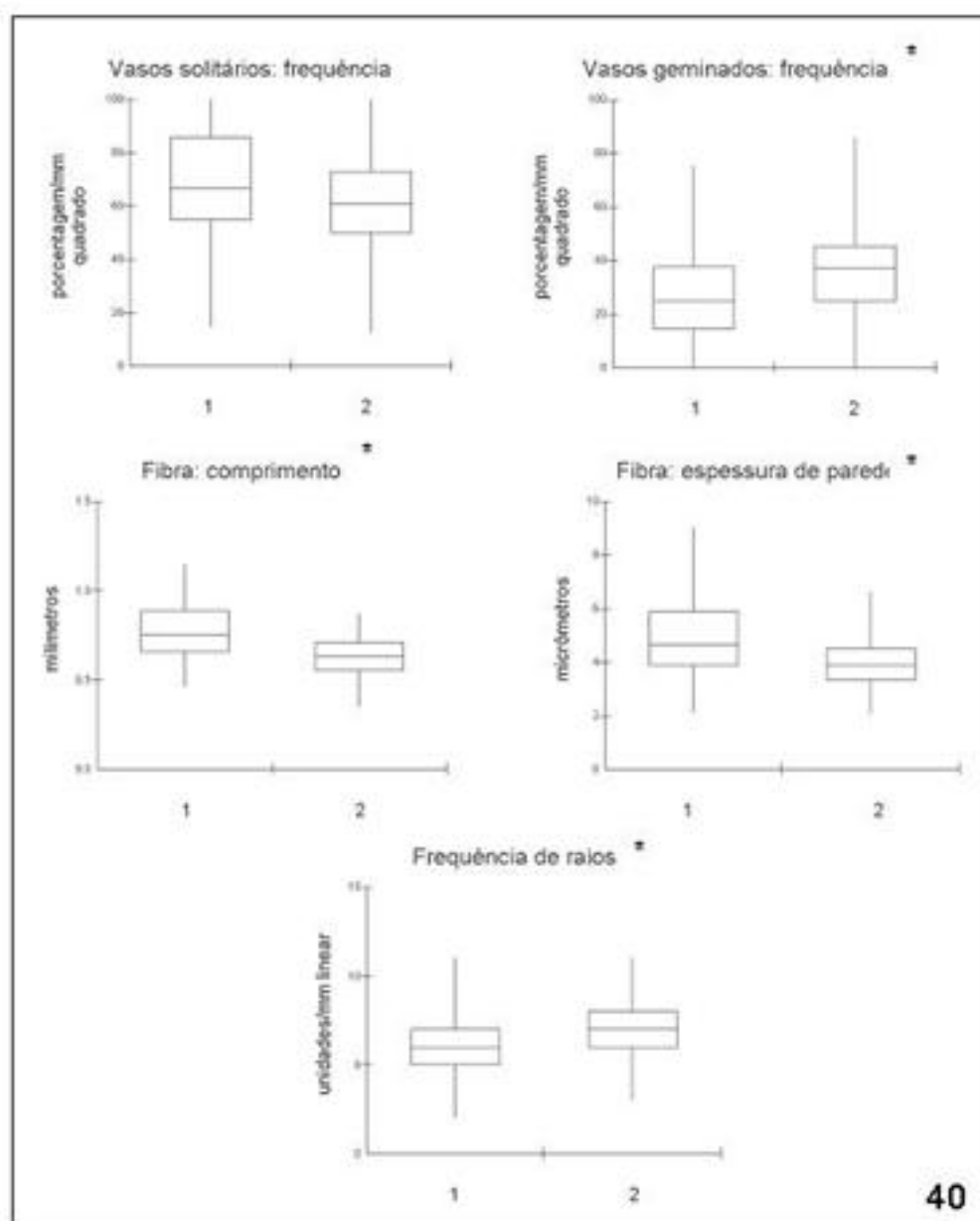


Figura 40. Análise descritiva de amostras do lenho de *Miconia cinnamomifolia* provenientes da área controle (1) e poluída (2), para as características frequência de vasos (solitários e geminados), frequência de raios, comprimento e espessura de parede de fibra. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

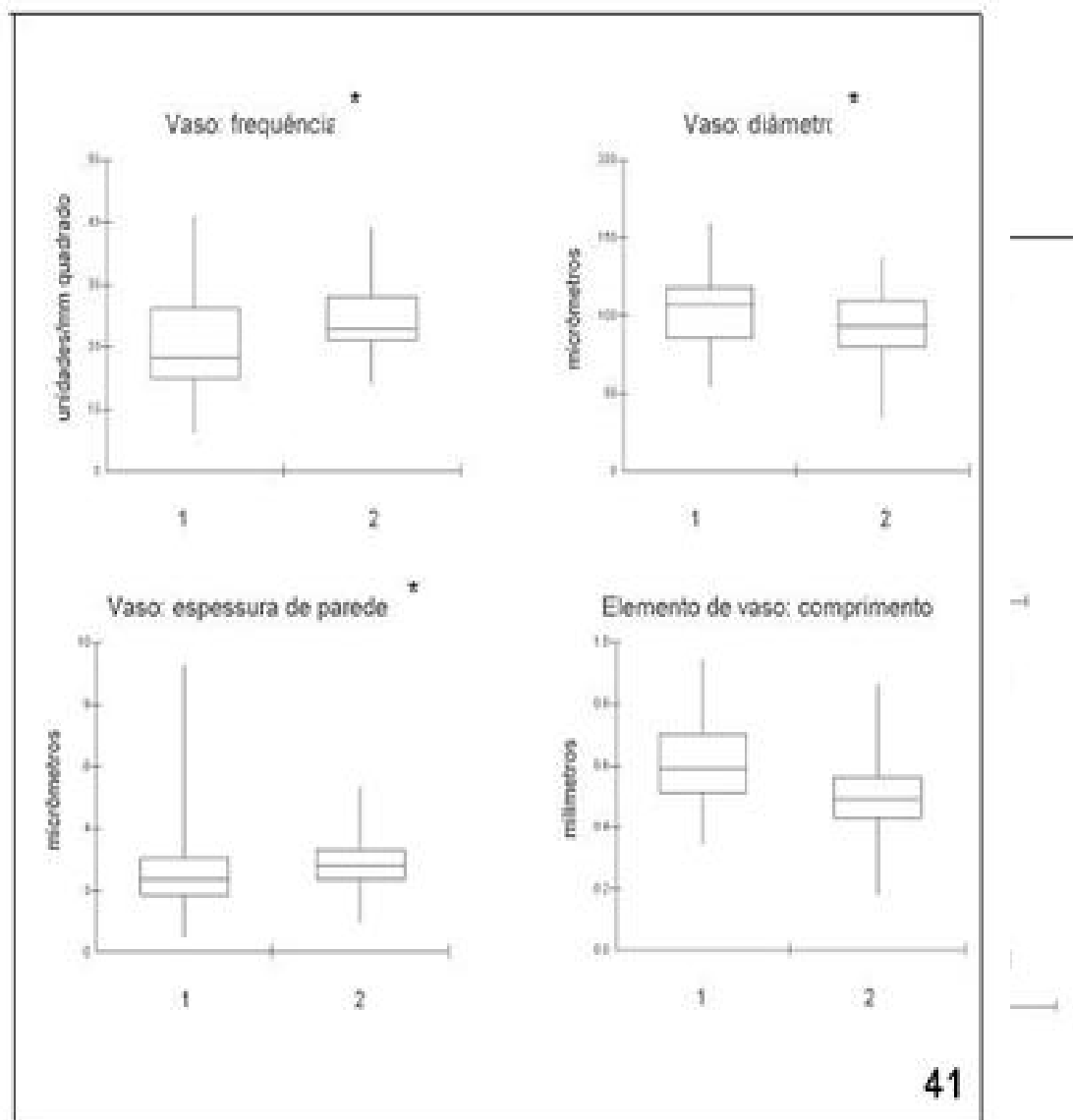


Figura 41. Análise descritiva das amostras do lenho de *Tibouchina pulchra* (coleta 2003) provenientes da área controle (1) e poluída (2), para as características frequência, diâmetro, espessura de parede e comprimento de elemento de vaso. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.



Figura 42. Análise descritiva das amostras do lenho de *Tibouchina pulchra* (coleta 2003) provenientes da área controle (1) e poluída (2), para as características frequência de vasos (solitários e geminados), frequência de raios, comprimento e espessura de parede de fibra. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

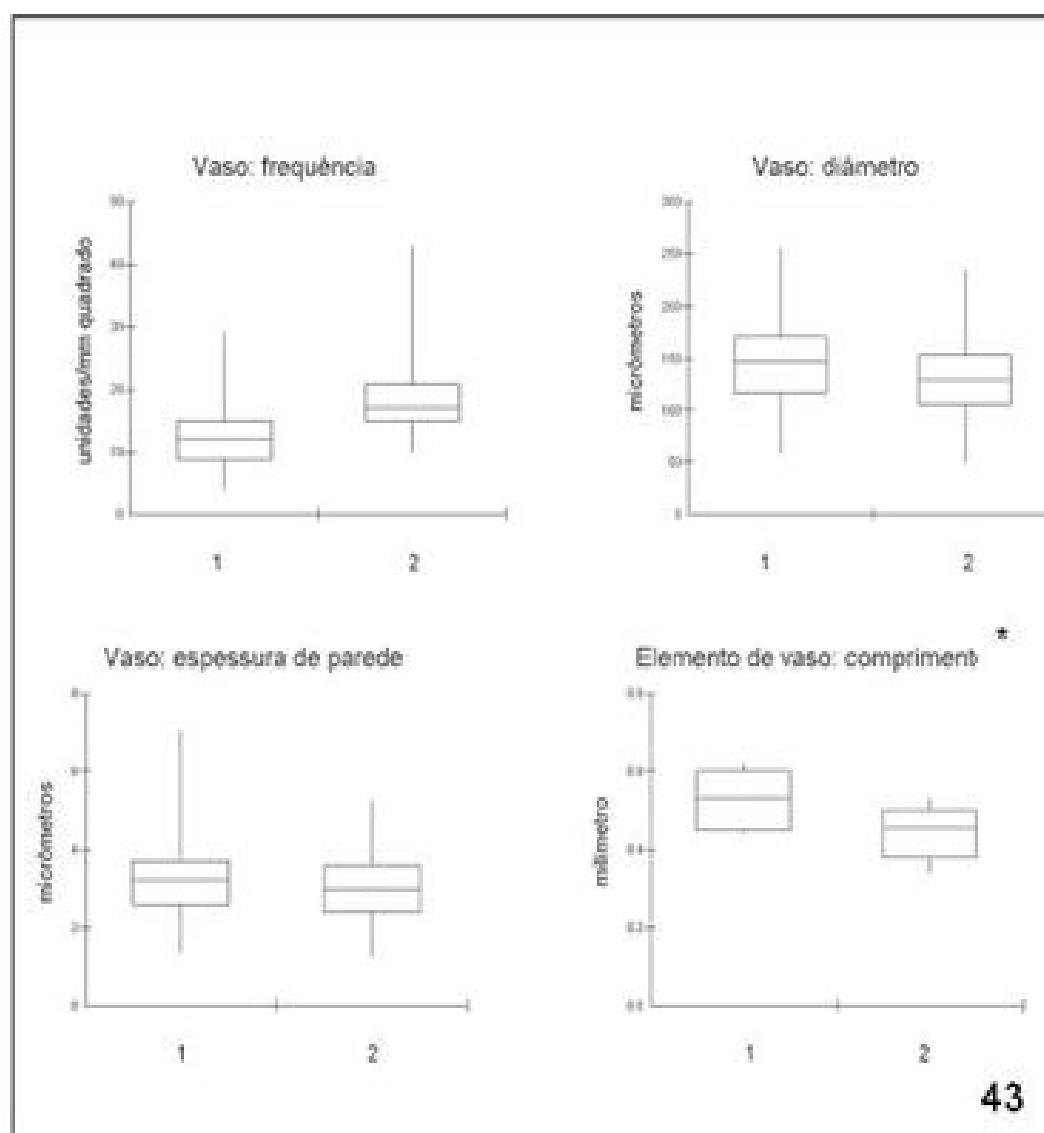


Figura 43. Análise descritiva das amostras do lenho de *Tibouchina pulchra* (coleta 1990, Mazzoni-Viveiros 1996) provenientes da área controle (1) e poluída (2), para as características frequência, diâmetro, espessura de parede e comprimento de elemento de vaso. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

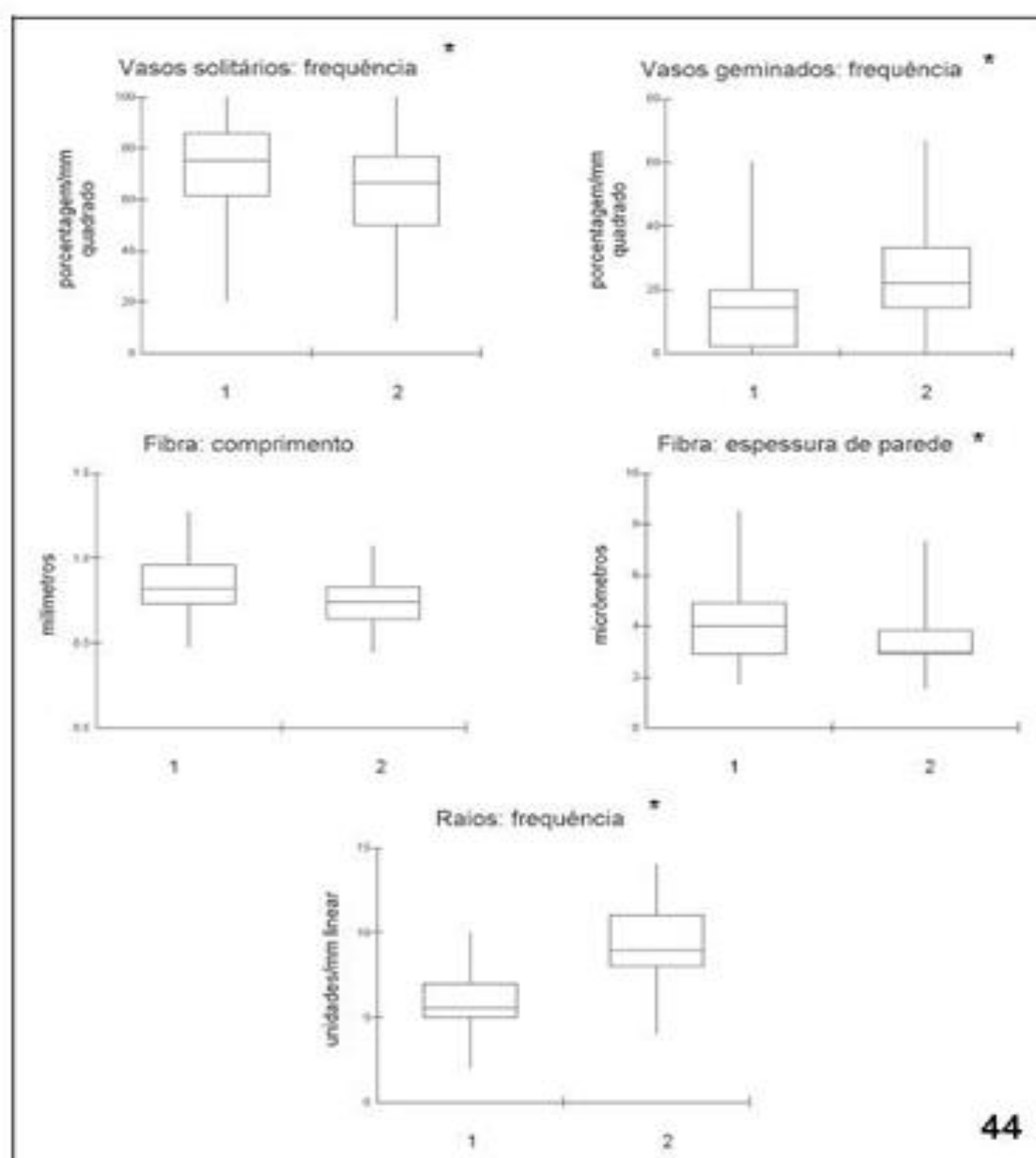


Figura 44. Análise descritiva das amostras do lenho de *Tibouchina pulchra* (coleta 1990, Mazzoni-Viveiros 1996) provenientes da área controle (1) e poluída (2), para as características frequência de vasos (solitários e geminados), frequência de raios, espessura de parede e comprimento de fibra.*: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

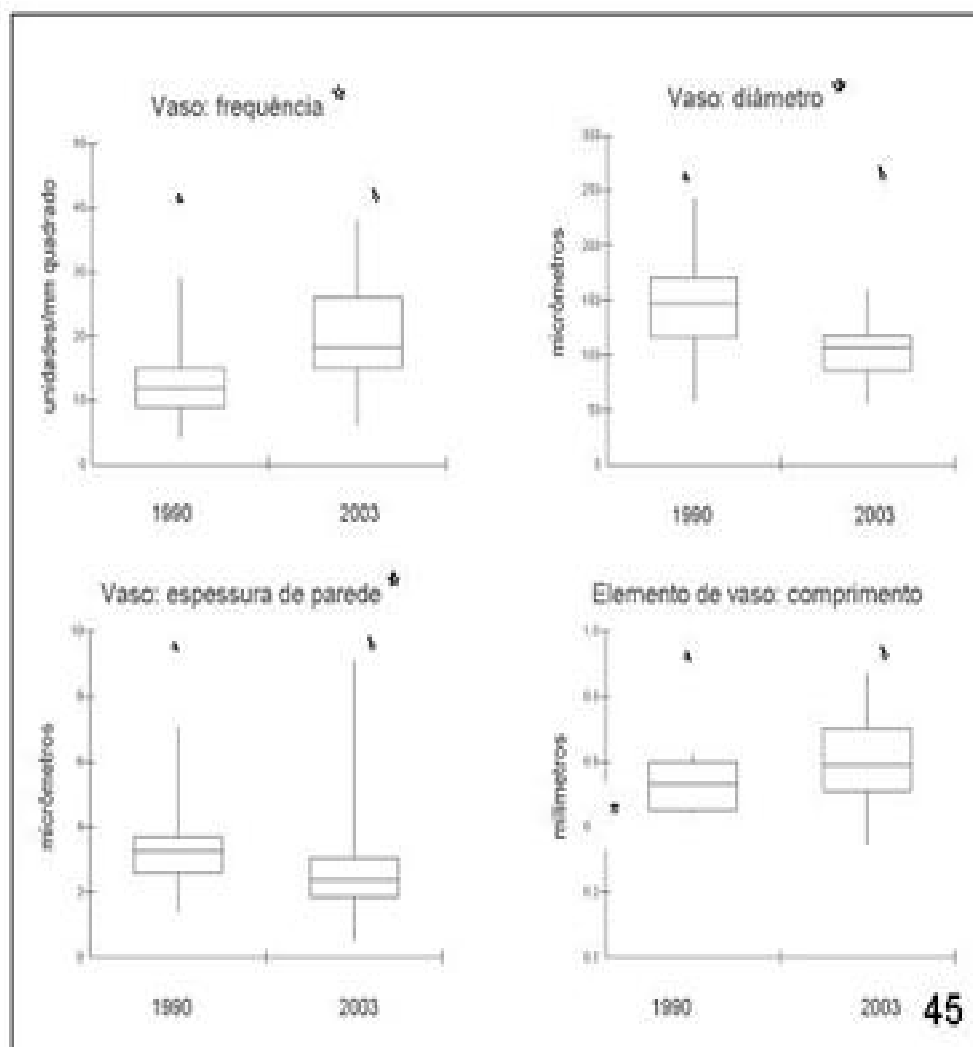


Figura 45. Análise descritiva comparativa entre as amostras do lenho de *Tibouchina pulchra*, coletas 1990 e 2003, provenientes da área controle, para as características frequência, diâmetro, espessura de parede e comprimento de elemento de vaso. Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre as amostras. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

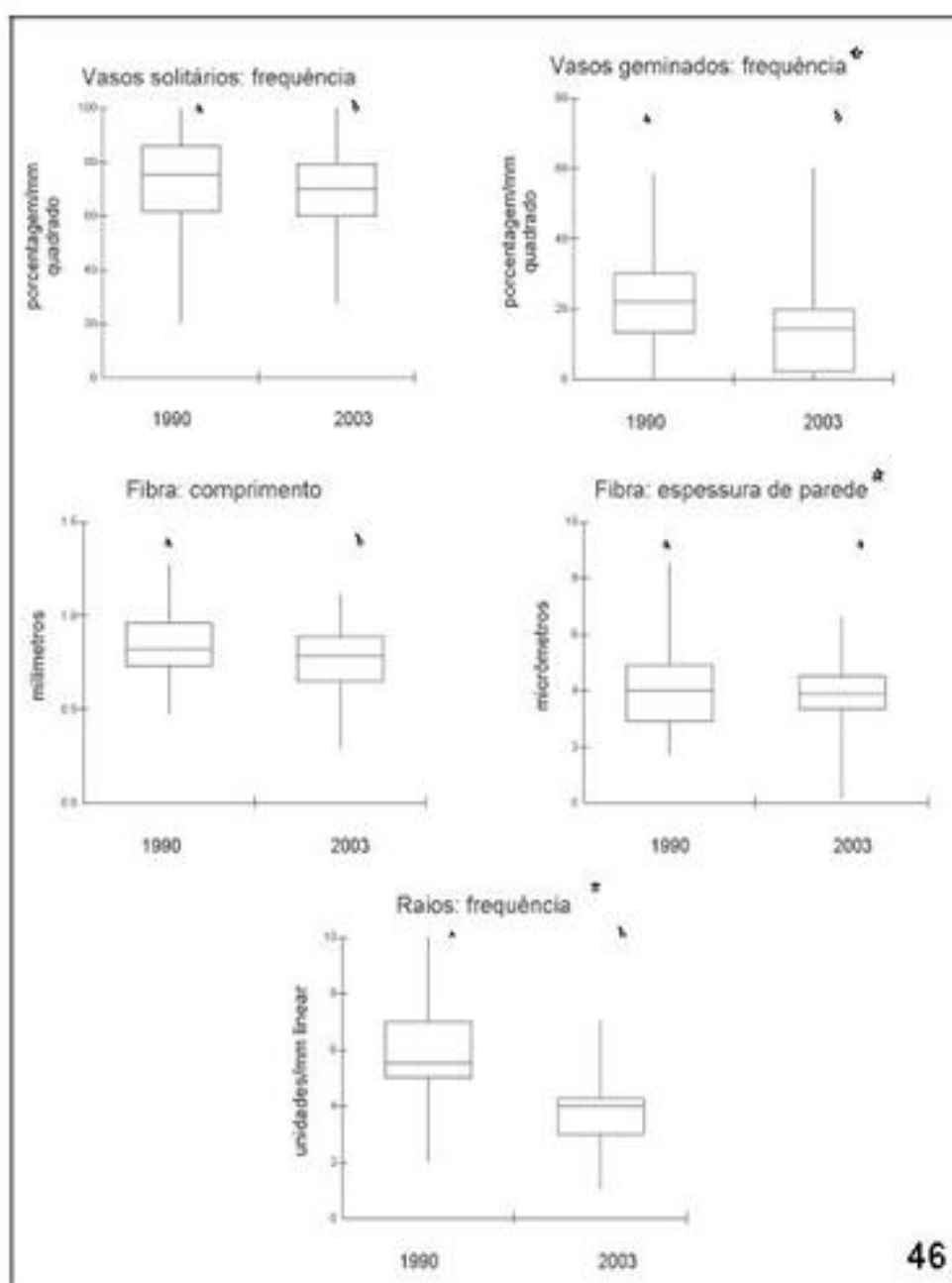


Figura 46. Análise descritiva comparativa entre as amostras do lenho de *Tibouchina pulchra*, coletas 1990 e 2003, provenientes da área controle, para as características frequência de vasos (solitários e geminados), frequência de raios, espessura de parede e comprimento de fibra. Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre as amostras. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

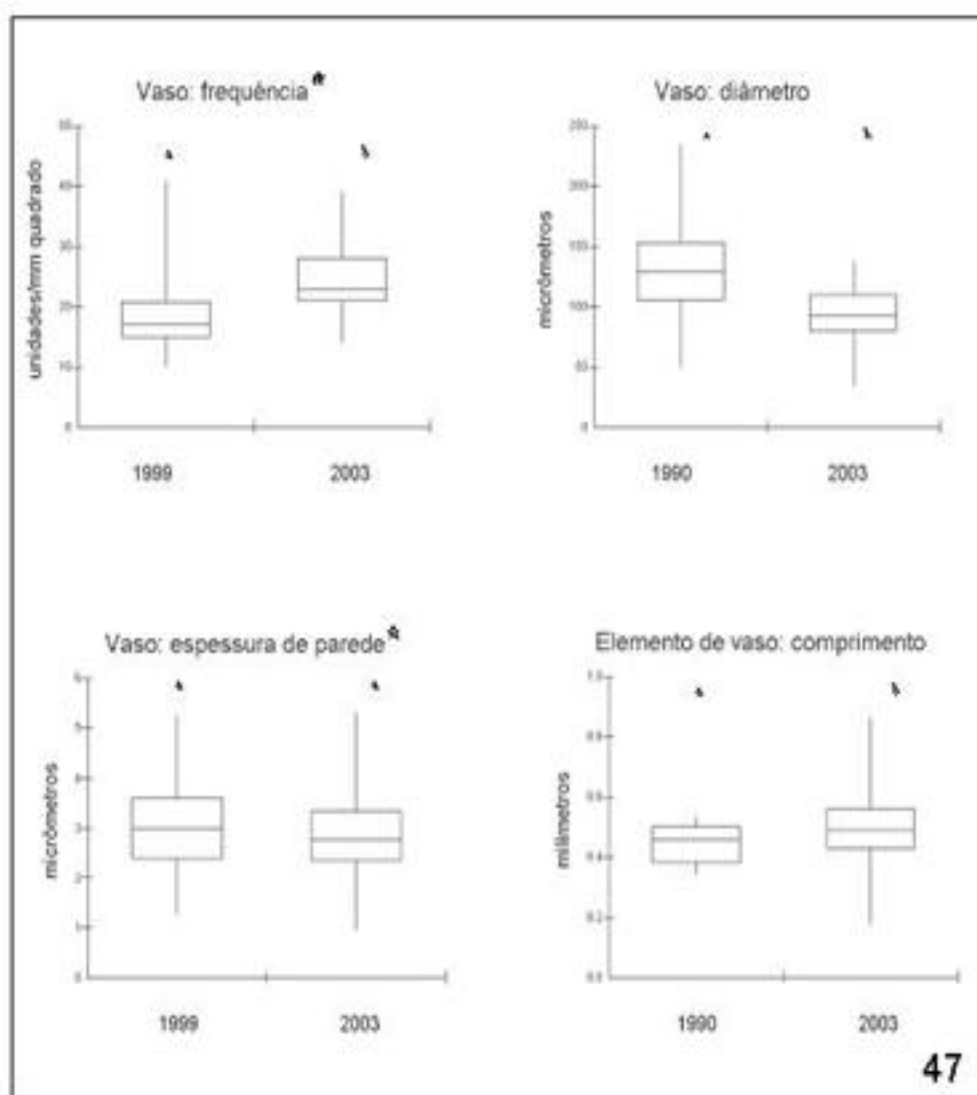


Figura 47. Análise descritiva comparativa entre as amostras do lenho de *Tibouchina pulchra*, coletas 1990 e 2003, provenientes da área poluída, para as características frequência, diâmetro, espessura de parede e comprimento de elemento de vaso. Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre as amostras. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

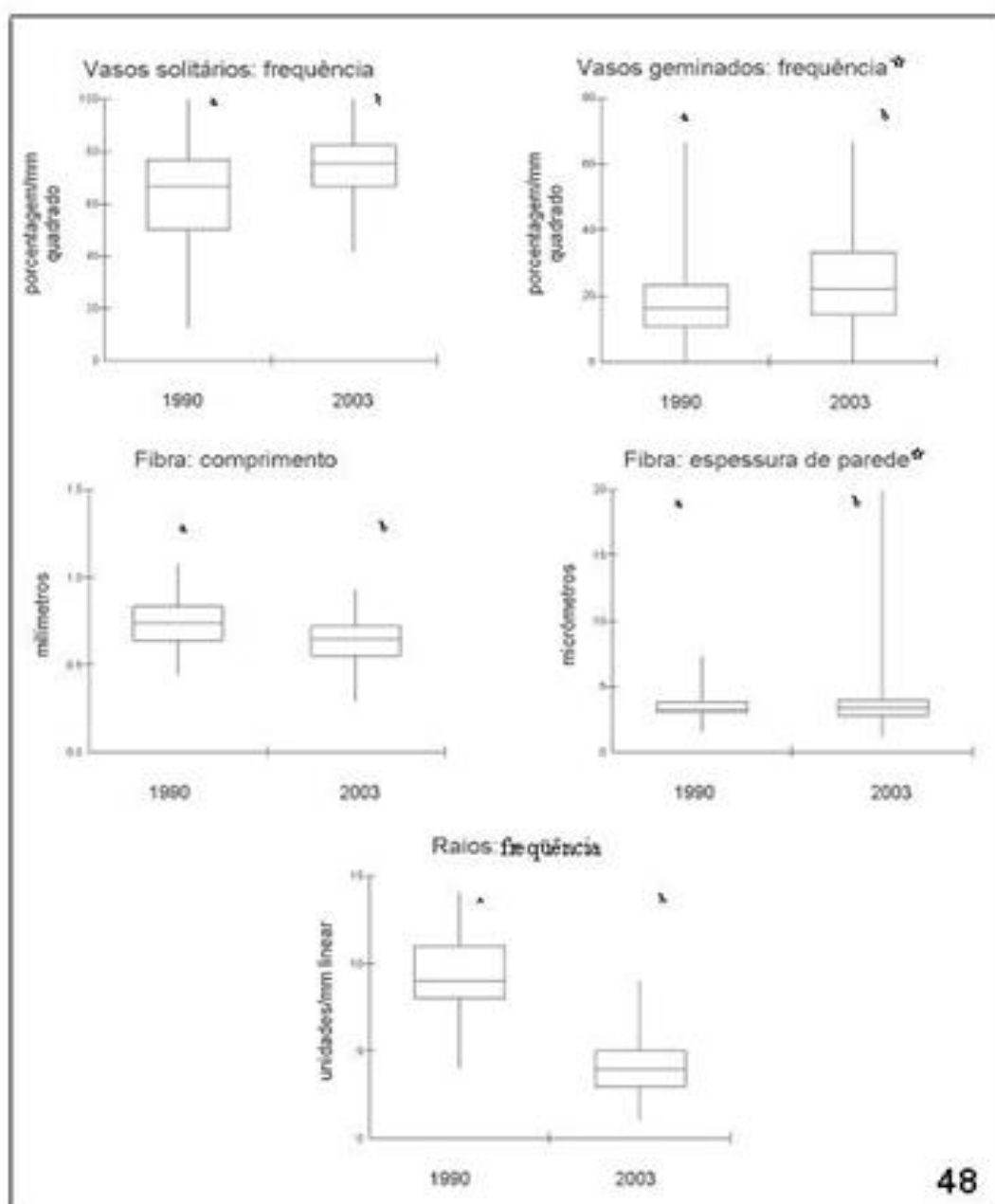


Figura 48. Análise descritiva comparativa entre as amostras do lenho de *Tibouchina pulchra*, coletas 1990 e 2003, provenientes da área poluída, para as características frequência de vasos (solitários e geminados), frequência de raios, espessura de parede e comprimento de fibra. Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre as amostras.*: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

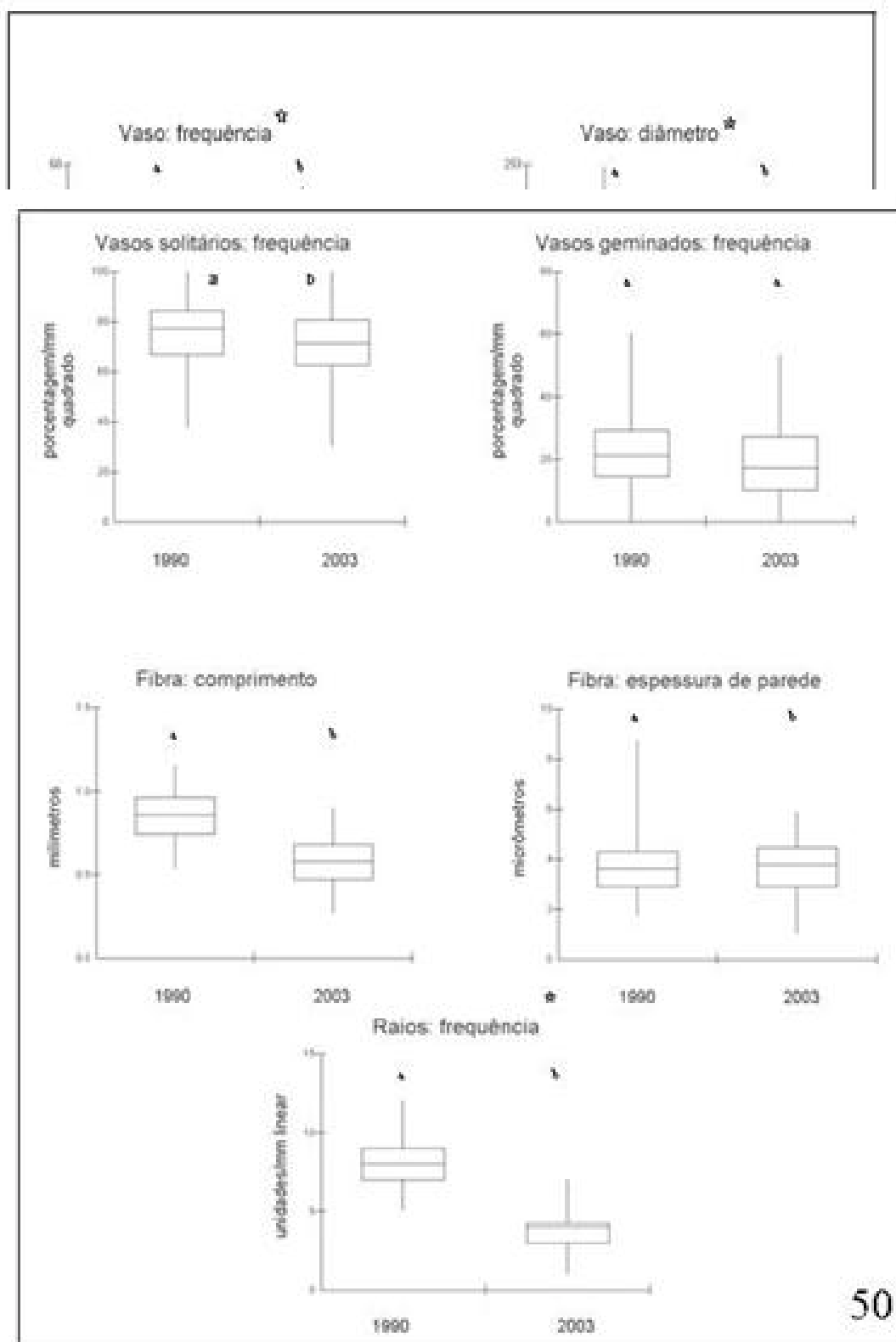


Figura 50. Análise descritiva comparativa entre o lenho de *Tibouchina pulchra*, coletas 1990 e 2003, provenientes de Paranapiacaba, para as características frequência de vasos (solitários e geminados), frequência de raios, comprimento e espessura de parede de fibra. Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre as amostras. *: Análise efetuada pelo Teste Mann-Witney, ao invés do Teste t. Caixa = 50% da amostra; linha horizontal = mediana; linha vertical = valores máximo e mínimo da amostra.

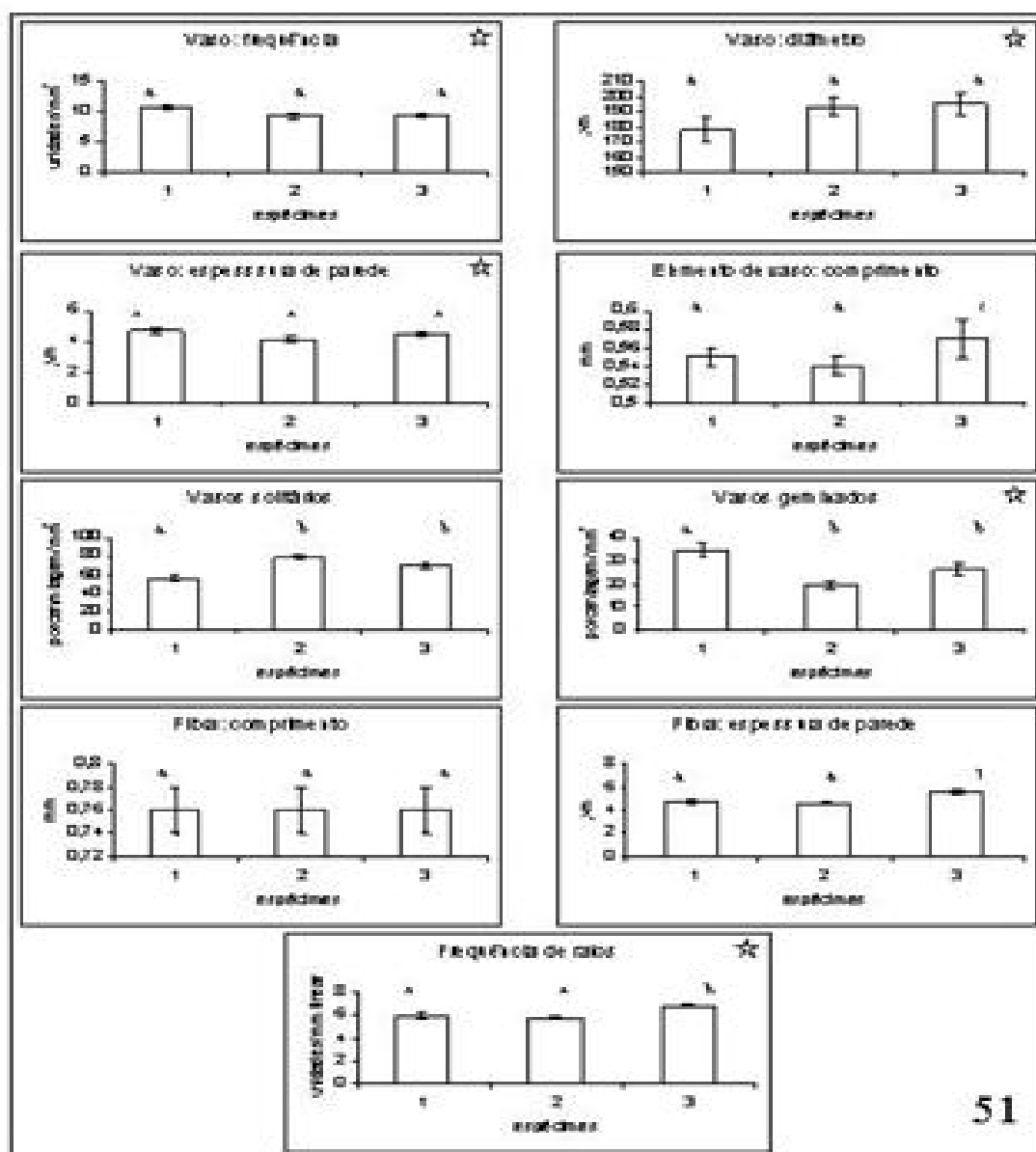


Figura 51. Histogramas referentes aos valores encontrados para as características frequência, diâmetro e espessura de parede de vaso, comprimento de elemento de vaso e de fibra, frequências de vasos (solitários e geminados), frequência de raios e espessura de parede de fibra, de cada espécime de *Miconia cinnamomifolia* coletado na área controle: SPw 1261 (1), SPw 1262 (2) e SPw 1263 (3). Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre os espécimes. Linha vertical em cada barra: erro padrão.* : Análise efetuada pelo Teste Kruskal Wallis, ao invés do One Way Anova.

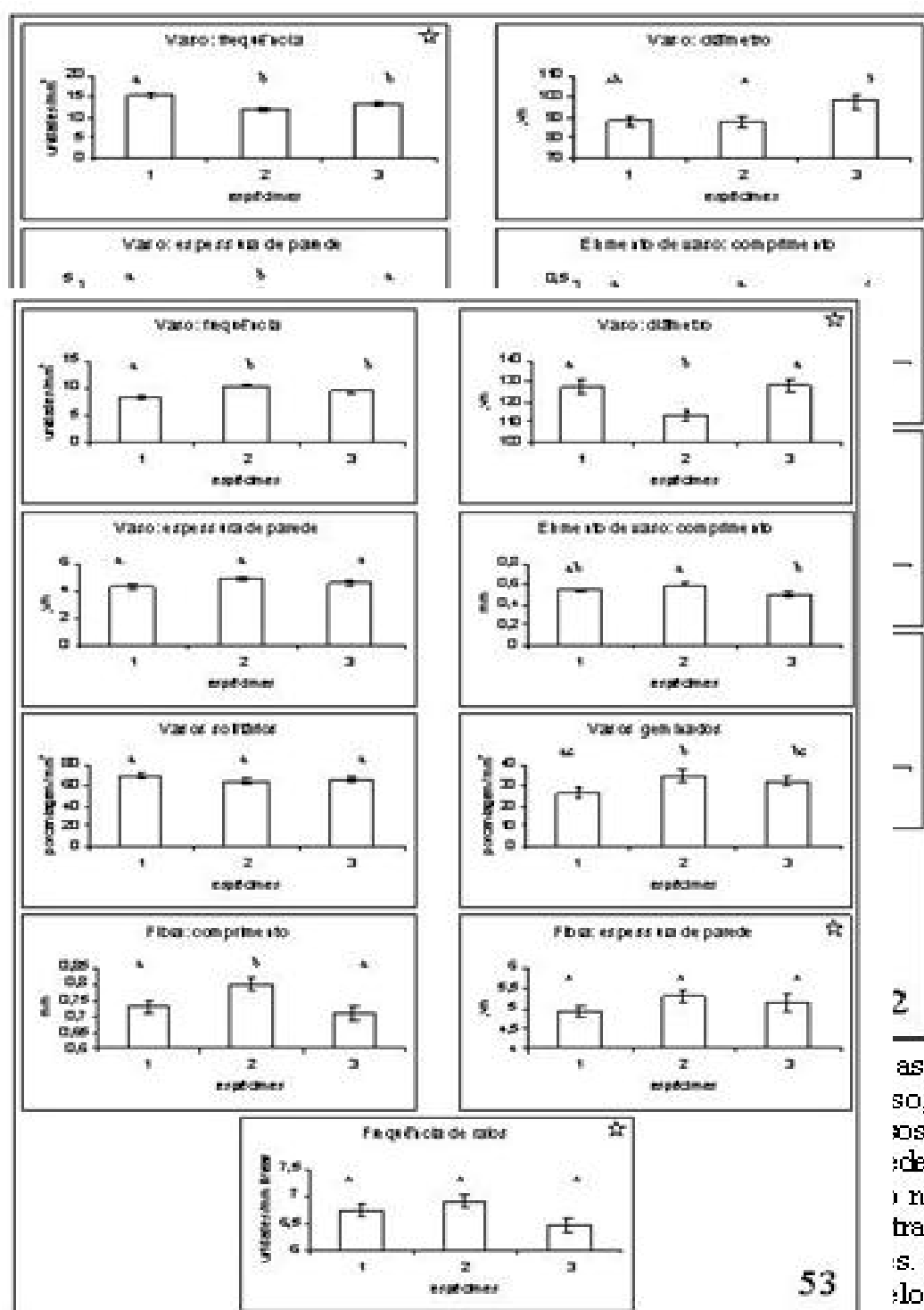


Figura 53. Histogramas referentes aos valores encontrados para as características freqüência, diâmetro e espessura de parede de vaso, comprimento de elemento de vaso e de fibra, freqüências de vasos solitários, geminados e de raios e espessura de parede de fibra de cada espécime de *Miconia cinnamomifolia* coletado em Paranapiacaba: SPw 1255 (1), SPw 1256 (2) e SPw 1260 (3). Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre os espécimes. Linha vertical em cada barra: erro padrão. ☆: Análise efetuada pelo Teste Kruskal Wallis, ao invés do One Way Anova.

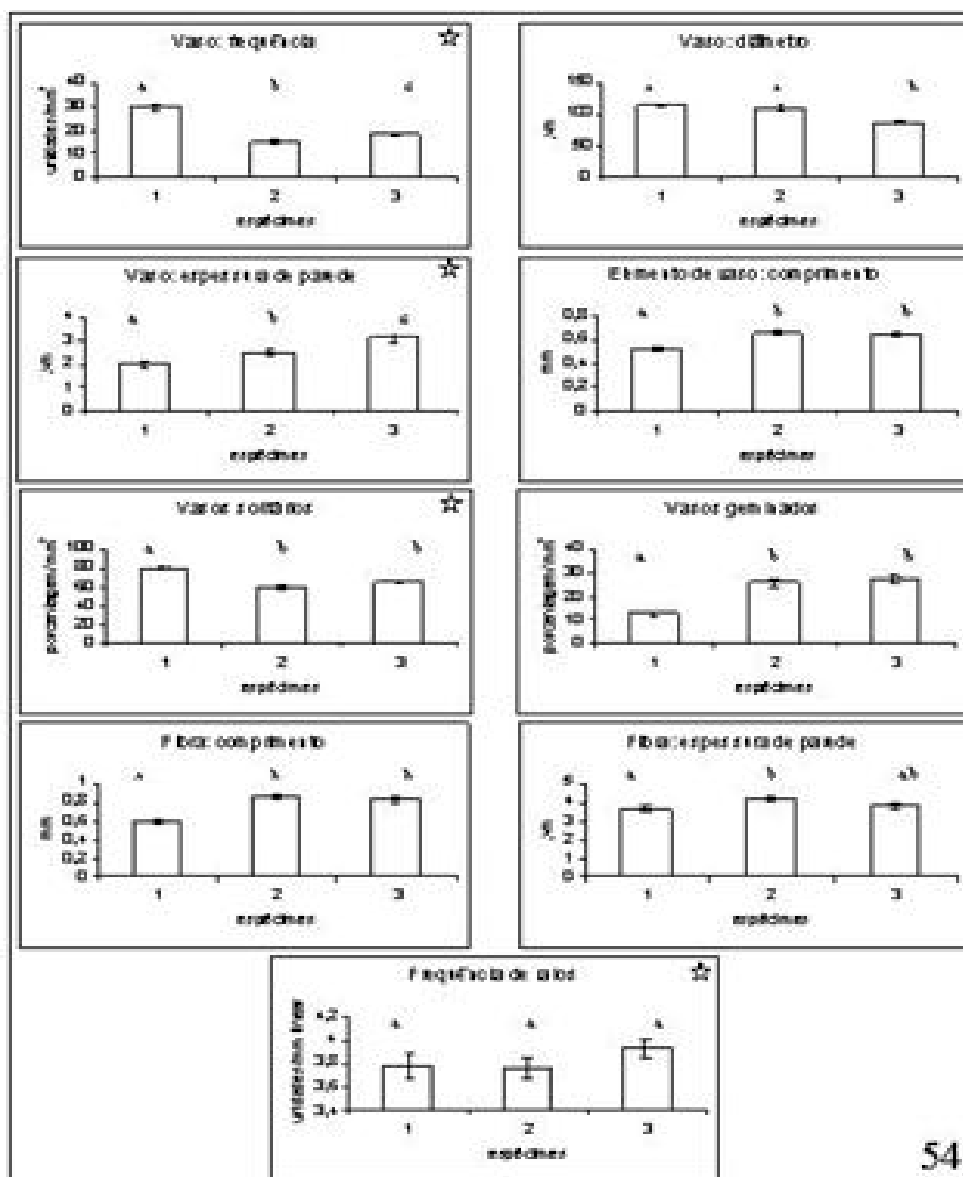


Figura 54. Histogramas referentes aos valores encontrados para as características frequência, diâmetro e espessura de parede de vaso, comprimento de elemento de vaso e de fibra, frequência de vasos (solitários e geminados), frequência de raios e espessura de parede de fibra, de cada espécime de *Tibouchina pulchra* (coleta 2003) coletado na área controle: SPw 2048 (1), SPw 2047 (2) e SPw 2046 (3). Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre os espécimes. Linha vertical em cada barra: erro padrão. *: Análise efetuada pelo Teste Kruskal Wallis, ao invés do One Way Anova.

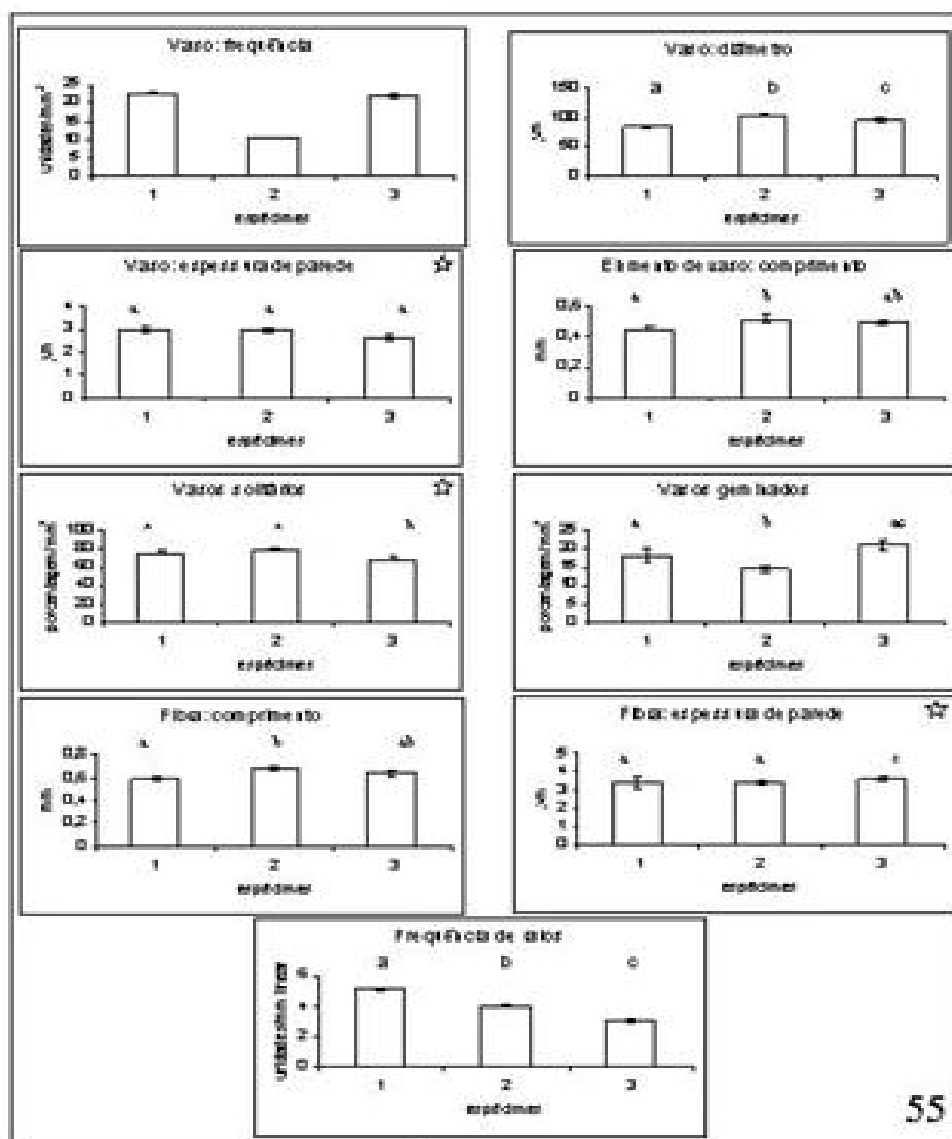


Figura 55. Histogramas referentes aos valores encontrados para as características frequência, diâmetro e espessura de parede de vaso, comprimento de elemento de vaso e de fibra, frequências de vasos (solitários e geminados), frequência de raios e espessura de parede de fibra, de cada espécime de *Tibouchina pulchra* (coleta 2003) coletado na área poluída: SPw 2041 (1), SPw 2042 (2) e SPw 2056 (3). Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre os espécimes. Linha vertical em cada barra: erro padrão. *: Análise efetuada pelo Teste Kruskal Wallis, ao invés do One Way Anova.

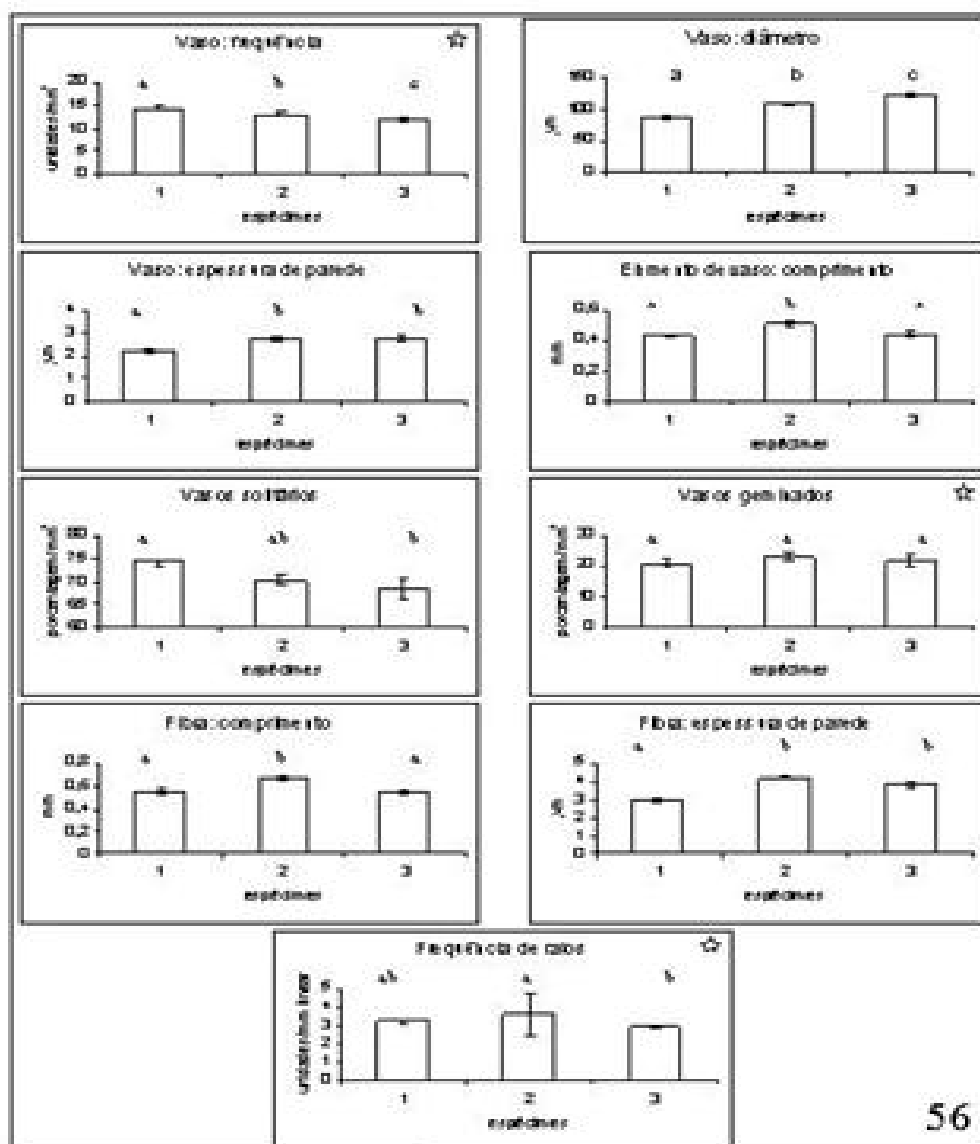


Figura 56. Histogramas referentes aos valores encontrados para as características frequência, diâmetro e espessura de parede de vaso, comprimento de elemento de vaso e de fibra, frequências de vasos (solitários e geminados), frequência de raios e espessura de parede de fibra, de cada espécime de *Tibouchina pulchra* (coleta 2003) oriundo de Paranapiacaba: SPw 2045 (1), SPw 2044 (2) e SPw 2043 (3). Letras diferentes: diferenças estatísticas significativas entre os espécimes. Linha vertical em cada barra: erro padrão. *: Análise efetuada pelo Teste Kruskal Wallis, ao invés do One Way Anova.

V) DISCUSSÃO

V.1) LENHO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS NAS DIFERENTES ÁREAS

As características encontradas no lenho dos diferentes espécimes de *Miconia cinnamomifolia* estão, em geral, de acordo com o exposto para a família Melastomataceae por Metcalfe & Chalk (1950), Vliet (1981) e Vliet *et al.* (1981); como o descrito para o gênero pelos mesmos autores, além de Ter Welle & Koek-Noorman (1981) e Record & Mell (1924); bem como o descrito para a espécie por Barros & Callado (1997). Ressalta-se, porém a errônea definição dada pelos autores, acima citados, além de IAWA (1989), para o agrupamento fibro-parenquimático, segundo Mazzoni-Viveiros (1996).

Em vista geral de secções transversais do lenho de *M. cinnamomifolia*, assim como verificado em *T. pulchra* (Mazzoni-Viveiros 1996), observou-se vasos mais estreitos, tendência ao agrupamento de vasos e maior número de camadas de crescimento nos espécimes da área poluída em relação aos da área controle (Fig. 17 e 18). O lenho proveniente da área controle também apresentou maior número de camadas de crescimento do que o lenho de Paranapiacaba (Fig. 17 e 19), o que não chegou a ocorrer em *T. pulchra* (Mazzoni-Viveiros 1996). Em secções transversais do lenho de *T. pulchra* (coleta 2003) verificou-se, ao contrário de *T. pulchra* (Mazzoni-Viveiros 1996), que o aspecto do material procedente da área controle assemelhou-se bastante ao da área poluída, devido à tendência à redução do diâmetro dos vasos, assim como uma tendência ao agrupamento dos mesmos (Fig. 26 e 27). *T. pulchra* (coleta 2003) proveniente de Paranapiacaba, por sua vez, apresentou vasos também tendendo ao agrupamento, além de vasos mais largos do que aqueles encontrados nas demais áreas (Fig. 28). Comparando-se todas as características analisadas nas duas espécies, nota-se que as tendências comuns para a área poluída foram o aumento da frequência de vasos, a redução do diâmetro e comprimento dos elementos de vasos, a redução do diâmetro, comprimento e espessura de parede das fibras e maior frequência de raios.

A partir da observação de secções longitudinais tangenciais do lenho de *T. pulchra* (coleta 2003) constatou-se que os espécimes provenientes da área poluída e Paranapiacaba apresentaram raios mais largos, devido à maior quantidade de células em seu eixo horizontal (Fig. 32, 33 e 34). Resultados semelhantes não foram observados em *M. cinnamomifolia* e *T. pulchra* (Mazzoni-Viveiros 1996).

A análise comparativa das características quantitativas, entre as amostras de *M. cinnamomifolia* (coleta 1991) e *T. pulchra* (coleta 2003) provenientes de área controle e as da área poluída, reproduz os resultados encontrados em *T. pulchra* (Mazzoni-Viveiros 1996) para as seguintes características: frequência de vaso e de raios (maiores nas amostras da área poluída), diâmetro, comprimento de elemento de vaso, bem como comprimento e espessura de parede de fibra (menores nas amostras da área poluída). Pela análise das Tabelas 4 e 5 - além das Fig. 39, 40, 41, 42, 43 e 44 - observou-se que somente as características espessura de parede de vasos, frequência de vasos solitários e geminados houve resposta distinta entre as amostras.

O agrupamento fibro-parenquimático foi melhor visualizado nos espécimes de *M. cinnamomifolia* da área controle e de Paranapiacaba, provavelmente devido ao contraste da espessura de parede de suas células com as das demais fibras de parede mais espessas, da mesma forma que o verificado por em *T. pulchra* por Mazzoni-Viveiros (1996) (Fig. 17, 18 e 19). A espécie *T. pulchra* (coleta 2003) apresentou agrupamento fibro-parenquimático distinguível nas amostras de lenho das diferentes procedências (Fig. 26, 27, 28, 29, 30 e 31).

A menor distinção do agrupamento fibro-parenquimático está, provavelmente, relacionada à menor espessura de parede das fibras adjacentes ao agrupamento, dificultando sua visualização.

A ocorrência de fibras de paredes finas na área poluída também havia sido verificada por Kort (1986) e Bauch *et al.* (1986) em espécimes sujeitos à poluição atmosférica. Gregory *et al.* (1986) e Mazzoni-Viveiros (1996) chegaram a verificar alteração no grau de lignificação das paredes das fibras de lenho sujeito à poluição atmosférica. Mazzoni-Viveiros (1996) atribuiu a menor espessura de

parede de fibras de lenho de espécimes de *T. pulchra* expostos à poluição a um processo de diferenciação limitado, já que as mesmas são vivas (núcleos evidentes) e septadas, e acrescentou que a redução na espessura de parede das fibras pode ser um reflexo de alterações no metabolismo dos compostos necessários à constituição e estrutura das paredes. Barajas-Morales (1985) observou que a espessura de parede de fibra não diferiu significativamente entre espécies de floresta úmida e seca. Fahn *et al.* (1986), Alves (1997) e Alves & Angyalossy-Alfonso (2002), por sua vez, verificaram que a ocorrência de fibras de paredes finas está relacionada a ambientes de maior umidade. Estão de acordo com esses resultados os encontrados por Baas *et al.* (1983, *apud* Mazzoni-Viveiros & Luchi 1989), que verificaram que elementos de vasos tendem a apresentar maior espessamento de parede nas floras de ambiente árido. Essa relação, porém, não deve estar ocorrendo no presente trabalho, já que tanto a área controle quanto a poluída apresentam precipitação e umidade relativa do ar bastante semelhantes, segundo Domingos (1998). Estudos realizados com a espécie *T. pulchra* demonstraram que espécimes provenientes da área poluída tiveram sua fotossíntese prejudicada pela poluição atmosférica (Moraes *et al.* 2003). Portanto, pode ter ocorrido certa dificuldade, dos espécimes da área poluída, em produzir os compostos necessários à formação das paredes de vasos e fibras, justificando a maior frequência de fibras vivas (septadas e nucleadas) que possuem paredes mais finas. O que se verifica é que a presença de fibras de paredes finas na área poluída pode estar, ainda, relacionada a uma estratégia nutricional, já que o processo de diferenciação limitado, mantendo tais fibras vivas, pode ser vantajoso sob as condições de poluição atmosférica da área poluída, uma vez que as mesmas funcionam como se fossem células parenquimáticas, armazenando e/ou produzindo substâncias.

Em *T. pulchra* (Mazzoni-Viveiros 1996), fibras gelatinosas ocorreram em maior quantidade em lenho de espécimes da área de Paranapiacaba. No entanto, espécimes de *M. cinnamomifolia* provenientes da área controle também apresentaram muitas fibras gelatinosas (Fig. 20, 21 e 22). O lenho de *T. pulchra* (coleta 2003) apresentou fibras gelatinosas apenas nas amostras provenientes de Paranapiacaba (Fig. 31).

Fibras gelatinosas foram observadas por Paviani (1978), Marcati *et al.* (2001) e Luchi (2004) em espécimes de ambiente com recursos hídricos desfavoráveis periódica ou permanentemente. A ocorrência de tais fibras, segundo Leme (1994), é comum em caules jovens e pode também ocorrer no chamado lenho de tensão, como descrito por Panshin & Zeeuw (1980), Esau (1974, 1977) e Costa *et al.* (2003). Segundo Panshin & Zeeuw (1980), a parede interna das fibras gelatinosas, a camada gelatinosa, apresenta ausência de lignina, apresentando cerca de 98% de celulose e pequenas quantidades de outros polissacarídeos. Costa *et al.* (2003) salienta que a camada gelatinosa apresenta natureza altamente higroscópica, da mesma forma que Paviani (1978), sendo constituída por alfa-celulose. Paviani (1978) sugeriu que tais fibras podem constituir estruturas armazenadoras de água, devido à natureza de suas paredes, mostrando-se inclusive porosas ao nível ultraestrutural. Portanto, as fibras gelatinosas encontradas no presente trabalho, assim como sugerido por Paviani (1978), podem estar servindo como estruturas armazenadoras de água do lenho sujeito à poluição atmosférica das diferentes áreas do presente estudo. Pelo fato de todas as áreas estudadas no presente trabalho pertencerem à Mata Atlântica conclui-se que não ocorre estresse hídrico real, podendo este ser apenas fisiológico ou a poluição atmosférica estar causando um estresse cuja resposta é semelhante àquela induzida pelo estresse hídrico. No entanto, a presença de camadas de crescimento (Figura 18), delimitadas por fibras de paredes mais espessas e/ou achatamento das mesmas acompanhadas de maior concentração de vasos de menor calibre, sugere que a região em estudo passa por períodos com disponibilidade hídrica restrita, e que nesses períodos os espécimes podem ficar mais susceptíveis aos demais estresses. A maior ocorrência de camadas de crescimento no lenho de espécimes de *M. cinnamomifolia* nas áreas controle e poluída, em relação à área de Paranapiacaba, reforça que há maior sazonalidade hídrica nas duas primeiras.

Os menores valores para o comprimento de fibra, encontrados nas amostras da área poluída, também foram observados por Kurjatko *et al.* 1990 e Alves (1995), sob condições atmosféricas semelhantes. Barajas-Morales (1985), Chimelo & Mattos Filho (1988) e Ceccantini (1996), por sua

vez, verificaram fibras menores em lenho sujeito ao estresse hídrico. Tal resposta, possivelmente, está relacionada à maior quantidade de fibras vivas, já que estas apresentam menor comprimento quando comparadas àquelas que perderam seu protoplasto.

A presença de células perfuradas de raio foi observada em *M. cinnamomifolia* nos espécimes da área poluída (Fig. 25), da mesma forma que Mazzoni-Viveiros (1996) verificou em espécimes de *T. pulchra* de mesma procedência. Sua ocorrência no presente trabalho, apenas em amostras de lenho proveniente da área poluída, também foi observada por Luchi (1990) em lenho oriundo de área sob estresse hídrico. Segundo Botosso & Gomes (1982), as células perfuradas de raio permitem a passagem de maior volume de água, inclusive no sentido radial, sendo importantes, também, na conexão de vasos que se encontram em extremidades opostas do raio. Tal conexão está relacionada a uma eficiência e/ou garantia no transporte radial de água e sais minerais. Portanto, a presença de células perfuradas de raio pode minimizar um provável estresse hídrico fisiológico em *M. cinnamomifolia*, e/ou estar servindo como uma estratégia nutricional, favorecendo o transporte radial de solutos armazenados.

A presença de raios mais largos, verificada no lenho de *T. pulchra* da área poluída e de Paranapiacaba, também foi observada por Chimelo & Mattos Filho (1988) em lenho de espécimes provenientes de caatinga e cerrado, quando relacionado ao proveniente de floresta. Segundo Braun (1984), os raios, além do parênquima paratraqueal, nas angiospermas podem atuar como um tecido acessório quando em contato com os vasos que conduzem água no lenho. Os tecidos acessórios das plantas lenhosas dos trópicos, segundo Braun (1984), aparentemente não armazenam amido, podendo, no entanto, mostrar uma elevada atividade de fosfatases ácidas. Quando secretadas no interior dos vasos, essas substâncias, osmoticamente ativas, geram condições necessárias para a absorção e mobilização da água e nutrientes, bem como para a pressão no sistema hidráulico da planta. Zimmerman & Brown (1971) também comentaram sobre a importância das células vivas na ascensão da seiva bruta no interior dos vasos, tais como as células parenquimáticas, somadas à presença de

fibras septadas nucleadas, que podem exercer papel de parênquima. Portanto, a ocorrência de raios mais largos nas áreas citadas pode estar promovendo um melhor transporte de água sob condições adversas. Pode, também, estar servindo para o armazenamento de maior quantidade de nutrientes, relacionando-se a uma possível estratégia nutricional.

Através da microscopia eletrônica de varredura, efetuada nos espécimes de *M. cinnamomifolia*, observou-se que o grau de elaboração das guarnições das pontoações e das paredes dos elementos de vasos do lenho de espécimes das áreas controle e poluída não diferiram entre si (Fig. 35, 36, 37 e 38). A mesma análise efetuada por Mazzoni-Viveiros (1996) em *T. pulchra* mostrou que o grau de elaboração das guarnições das pontoações e das paredes dos elementos de vasos foi menor nos espécimes da área poluída. Parece, porém, que no lenho de *M. cinnamomifolia* proveniente da área poluída, as guarnições das paredes e das pontoações dos elementos de vasos não estão respondendo ao estresse imposto pelos poluentes como o verificado em *T. pulchra*.

A ocorrência de vasos estreitos e agrupados, que ocorreram no lenho de espécimes de *T. pulchra* e *M. cinnamomifolia* provenientes da área poluída, têm sido reportada por vários autores (Zimmermann & Brown 1971, Carlquist 1975, 1988, Carlquist & Hoekman 1985, Villagra & Juñent 1997) para espécimes sujeitos às condições hídricas adversas. A presença de vasos mais estreitos também está de acordo com os resultados encontrados por Kort (1986), Kurjatko *et al.* (1990) e Alves (1995) em lenhos sujeitos à poluição atmosférica.

O aumento do agrupamento de vasos verificado, representado pela maior frequência de vasos geminados em relação à frequência dos solitários, tem sido relacionado às condições ambientais de escassez hídrica, no intuito de minimizar efeitos de possíveis embolias, garantindo o fluxo hídrico e melhorando o transporte de água (Carlquist 1975, 1988, Carlquist & Hoekman 1985, Villagra & Juñent 1997). A mesma resposta foi encontrada em lenhos oriundos de ambientes com sazonalidade em relação à umidade (Alves 1997, Alves & Angyalossy-Alfonso 2001). Luchi (2004), entretanto, verificou que a maior frequência de vasos geminados foi encontrada em lenho de espécimes

encontrados em solo alagado, ao invés daquele de espécimes de solo úmido e seco. A menor frequência de vasos solitários, encontrada nos espécimes de *M. cinnamomifolia* e *T. pulchra* (Mazzoni-Viveiros 1996) expostos à poluição atmosférica, está de acordo com a resposta verificada por Alves (1995) em amostra de *Cecropia glazioui* coletada na mesma área.

Assim como visto em *T. pulchra* (Mazzoni-Viveiros 1996), o lenho de *M. cinnamomifolia* proveniente da área poluída apresentou maior concentração de vasos, especialmente na região adjacente às camadas de crescimento (Figura 18). O lenho de espécimes de *M. cinnamomifolia*, provenientes de Paranapiacaba, não apresentaram uma tendência em formar faixas com maior concentração de vasos, como foi observado nos espécimes de *T. pulchra* de mesma procedência (Fig. 19). A presença de camadas de crescimento bem delimitadas, encontrada nos espécimes de área poluída, além de ter sido relacionada a plantas submetidas a ambientes com sazonalidade hídrica e/ou condições hídricas desfavoráveis (Luchi 1990, 1998, 2004), também ocorreu em plantas de ambientes com sazonalidade térmica (Alves & Angyalossy-Alfonso, 2001). Como já foi salientado, tal resposta sugere uma certa sazonalidade hídrica na Mata Atlântica, o que pode maximizar os efeitos dos poluentes atmosféricos no lenho.

A diminuição do comprimento do elemento de vaso, das amostras provenientes da área poluída, também foi observada em lenhos estudados por Bauch (1986), Kort (1986), Azmutat *et al.* (1986) e Alves (1995), sob mesmas circunstâncias atmosféricas. Izuta *et al.* (2001) verificaram essa resposta em indivíduos submetidos a solo acidificado. Bauch *et al.* (1986), no entanto, verificaram que o comprimento do elemento de vaso não variou entre espécimes provenientes de áreas com grandes quantidades de compostos nitrogenados e dióxido de enxofre e espécimes saudáveis.

Carlquist (1975) explicou que sob situações chuvosas, o que ocorre quase que diariamente, tanto na área controle como na área poluída do presente trabalho, são esperados lenhos com elementos de vasos longos e largos. Tais aspectos foram verificados por Chimelo & Mattos-Filhos (1988) em lenho proveniente de floresta quando comparado ao oriundo de caatinga e cerrado. Portanto, no

presente trabalho a poluição atmosférica pode estar maximizando os efeitos dos períodos com menor disponibilidade de água às plantas da Mata Atlântica, levando à formação de elementos de vasos pequenos e estreitos.

A maior frequência de vasos, ocorrida na área poluída, também havia sido reportada por Kurjatko *et al.* (1990) e Alves (1995), em lenho proveniente de áreas também impactadas pela poluição atmosférica. Tal aspecto também foi observado por Barajas-Morales (1985) e Ceccantini (1996) em lenho proveniente de área cuja vegetação é sujeita ao estresse hídrico. Vesque & Viet (1881, *apud* Baas 1982) verificaram que sob condições ambientais úmidas há ocorrência de poucos vasos. Luchi (2004) encontrou resposta diferente, verificando a maior média para frequência de vasos em espécimes estabelecidos em áreas de solo úmido e alagado.

Segundo Zimmermann & Brown (1971), Carlquist (1975, 1988), Zimmermann (1982) e Carlquist & Hoekman (1985), várias respostas encontradas na área poluída (como maior frequência de vasos e vasos estreitos) ocorrem em espécimes sujeitos a estresse hídrico, diminuindo as chances de ocorrer embolismos e garantindo o fluxo de água no lenho, sendo essas características de elevado valor adaptativo sob condições ambientais xéricas. No entanto, essa condição não ocorre na Mata Atlântica da mesma forma que em ambientes mais secos. Portanto, as diferenças estatísticas significativas, com respeito a essas características entre espécimes da área controle e poluída, não deveriam ocorrer já que ambas as áreas são muito semelhantes quanto à umidade. O que provavelmente pode estar ocorrendo é que a resposta do lenho submetido à poluição atmosférica é a mesma que ocorre em condições de estresse hídrico, como já sugerido por Alves (1995) e Mazzoni-Viveiros (1996). Mazzoni-Viveiros (1996) chegou a comentar que é possível que os poluentes atmosféricos estejam alterando o fluxo de reguladores de crescimento que, por sua vez, passam a interferir na diferenciação do lenho. A redução no diâmetro dos vasos e a maior frequência dos mesmos sugerem o envolvimento das auxinas no processo, como proposto por Aloni (1987, *apud* Roberts *et al.* 1988).

Verificou-se uma maior frequência de raios para a amostra da área poluída. Fink (1986) verificou em árvores doentes, devido à poluição atmosférica, um menor incremento radial do que nas árvores sadias. Como já anteriormente comunicado, células vivas - tais como as parenquimáticas radiais e as fibras nucleadas, que podem exercer função de parênquima - são necessárias à ascensão da seiva (Zimmermann & Brown 1971, Braun 1984). Portanto, uma maior frequência de raios, associada ao aumento na quantidade de fibras vivas, nas amostras da área poluída podem representar uma estratégia hídrica, favorecendo a manutenção do fluxo hídrico no interior dos vasos, assim como uma estratégia nutricional, devido à maior quantidade de células com possibilidade de armazenar substâncias.

As respostas verificadas no lenho da área poluída, semelhantes às aquelas que ocorrem sob estresse hídrico, podem ser devido às altas concentrações de materiais particulados, fluoretos, compostos de nitrogênio e enxofre, que diferenciam as condições dessa área com a controle, como salientado por Mayer *et al.* (1993), Klumpp *et al.* (1994), Mazzoni-Viveiros (1996) e Domingos (1998). Tais poluentes podem estar causando efeitos acentuados em períodos de menor disponibilidade hídrica que possa vir a ocorrer na Mata Atlântica.

O dimorfismo de vaso e fibras verificado em *M. cinnamomifolia*, assim como Mazzoni-Viveiros (1996) verificou para *T. pulchra*, pode estar relacionado ao fato das duas espécies serem consideradas secundárias iniciais, ou pioneiras secundárias, necessitando de mecanismos para se estabelecer e permanecer em ambientes hostis como as clareiras e bordas da Mata Atlântica, o que também pode proporcionar mais chances de ambas suportarem o estresse proporcionado pela poluição atmosférica do complexo industrial de Cubatão.

V.2) LENHO DE *TIBOUCHINA PULCHRA* COGN.

V.2.1) Área controle – coletas 1990 e 2003

Pela análise dos “boxplots”, correspondentes às Figuras 45 e 46, verifica-se que em espécimes de *T. pulchra* da coleta 2003, proveniente da área controle, ocorreram de forma acentuada determinadas características que refletem estresse nutricional, como paredes de vasos mais finas, assim como das fibras (embora não havendo diferença significativa para esta), bem como fibras menores. Segundo Braun (1984), tais características sugerem uma maior ocorrência de fibras vivas (Fig. 16), com potencial para o armazenamento de substâncias como o amido, que por sua vez podem contribuir com nutrientes em época desfavorável. Uma maior frequência de raios, que normalmente ocorre como estratégia nutricional, entretanto, não foi observada.

As comparações acima descritas sugerem que a vegetação da área controle possa, atualmente, estar sendo impactada por poluentes atmosféricos que em meados de 1990 não estavam ali presentes, ou em concentrações não prejudiciais à vegetação. Segundo Furlan *et al.* (1999) e Klumpp *et al.* (1994), o Vale do Rio Pilões apresenta poluentes atmosféricos oriundos de veículos auto-motores. Deduz-se que o aumento do tráfego de veículos ocorrido no entorno dessa área em anos recentes, com a duplicação de rodovia, tenha colaborado para o aumento das concentrações desses poluentes, especialmente o ozônio troposférico, levando o lenho de *T. pulchra* a apresentar as respostas obtidas.

Segundo Rennenberg *et al.* (1996, *apud* Klumpp *et al.* 2000b) o ozônio e seus produtos de reação diminuem a fotossíntese e alteram a alocação de carboidratos, causando uma redução na acumulação de biomassa e distinta redução no crescimento radicular, o que pode diminuir a absorção de água e sais minerais essenciais às plantas. Conseqüentemente, pode haver a formação de fibras com paredes finas, vivas, que, por sua vez, podem estar relacionadas a uma estratégia nutricional, como discutido anteriormente.

A boa disponibilidade de nitrogênio para as plantas dessa área, verificada por Mayer & Lopes (1997), pode estar sendo acompanhada pela absorção insuficiente de outros nutrientes, o que segundo Klumpp *et al.* (2000b) pode causar, a longo prazo, desequilíbrios nutricionais severos, sendo que estes já podem estar refletidos nas amostras de lenho de *T. pulchra* coletada em 2003. Outra possível

justificativa para os resultados obtidos é o fato de nutrientes que anteriormente ocorriam em consideráveis quantias na área controle, como o próprio nitrogênio, podem não estar atualmente disponíveis aos espécimes de *T. pulchra*, devido a uma maior acidez provável no solo da área controle, inclusive nas camadas mais profundas, o que anteriormente ocorria apenas superficialmente (Mayer & Lopes 1997), levando a uma lixiviação e/ou indisponibilidade de cátions essenciais às plantas, tais como o potássio, o cálcio e o magnésio (Dässler & Börtitz 1988, Mayer & Lopes 1997, Lambers *et al.* 1998). Portanto, o solo dessa área pode estar se assemelhando ao solo da área poluída. O sulfato, que segundo Mayer & Lopes (1997) é presente ao longo de perfil do solo da área controle e cujas perdas são pequenas sendo, portanto, bem disponível para as plantas, por exemplo, pode também estar sendo lixiviado.

Dässler & Börtitz (1988) explicaram que, cedo ou tarde, grande quantidade de todas as imissões entra no solo, sendo os gases diretamente ou através, principalmente, da precipitação; as partículas diretamente pela deposição seca ou úmida ou acumuladas, primeiramente, nas folhas da planta, por exemplo, e, posteriormente, sendo levadas ao solo.

V.2.2) Área poluída - coletas 1990 e 2003

Apesar de, segundo a CETESB (2003), a poluição ter diminuído no Vale do Rio Moji devido ao controle de suas emissões, verifica-se que há, ainda, influência da mesma na coleta 2003, uma vez que ocorre diferença significativa entre os valores da área poluída em 1990 e 2003 no que se refere ao diâmetro e frequência dos vasos (Figuras 47 e 48). Tal resultado pode ser devido aos efeitos da deposição no solo, seca ou úmida, de poluentes lançados no passado. Esses poluentes podem estar agindo de tal forma a desenvolver uma estratégia hídrica mais acentuada nas coletas realizadas em

2003, ou podem estar afetando o lenho a ponto deste responder como se houvesse um estresse hídrico na área poluída.

Segundo Corson (1993), a deposição de ácidos, por exemplo, pode danificar as raízes das árvores, bloquear a absorção de nutrientes e prejudicar o transporte de água, tornando as árvores mais susceptíveis a seca, insetos e outras fontes de desgastes.

Em estudo realizado por Moraes (1999) a partir da exposição (biomonitoramento ativo) de espécimes de *T. pulchra* no ano de 1998, demonstrou-se que os espécimes oriundos da área poluída, em comparação com aqueles da área controle, apresentaram concentrações mais altas de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre, as mais baixas de cálcio, enquanto que magnésio não diferiu entre as áreas. A autora salientou que apesar dos espécimes da área poluída apresentarem maior contribuição percentual de nutrientes à biomassa foliar, eles tiveram menor biomassa, indicando que a utilização de seus nutrientes foi feita de modo ineficiente. Por outro lado, a autora verificou que as concentrações foliares de flúor e nitrogênio correlacionaram-se negativamente com a fotossíntese líquida. Segundo Moraes (1999), inclusive, a poluição atmosférica continua intensa no Vale do Rio Moji.

As altas taxas de nitrogênio foliar, encontradas nos espécimes de *T. pulchra* da área poluída, provavelmente devido às emissões de vários compostos de nitrogênio no local, podem compensar parcialmente a degradação induzida por outros poluentes (Moraes *et al.* 2003).

Segundo Mayer & Lopes (1997), pelo fato da área poluída, ao contrário da área de referência, apresentar concentrações de nitrato no solo que decrescem pouco com a sua profundidade, permanecendo praticamente constantes e muito elevados, pode-se concluir que grande parte deste não é convertido em biomassa, o que já não ocorre na área controle.

V.2.3) Paranapiacaba - coletas 1990 e 2003

Em Paranapiacaba, assim como na área controle (Vale do Rio Pilões) e poluída (Vale do Rio Moji), verifica-se, pela análise do lenho de *T. pulchra*, uma acentuação nas características relacionadas à garantia do fluxo hídrico (como maior frequência e menor diâmetro dos vasos, menor comprimento de elementos de vasos e de fibras), bem como uma característica relacionada à estratégia ou estresse nutricional (paredes de vaso mais finas), podendo ser decorrente de um provável aumento dos níveis de poluição atmosférica (Figuras 49 e 50).

Os menores valores referentes à espessura de parede de vaso podem ser um reflexo da decomposição extremamente lenta, apesar da serapilheira ser rica em nutrientes como o nitrogênio, o fósforo, cálcio e enxofre (Moraes *et al.* 1995), o que pode retardar a disponibilidade de nutrientes para as espécies vegetais de Paranapiacaba.

Essa área, segundo Domingos (1998), Domingos *et al.* (1998), Klumpp *et al.* (1994) e Moraes *et al.* (2002), é afetada por emissões de poluentes secundários, portanto, assim como na área controle, é provável que Paranapiacaba esteja, atualmente, apresentando maiores concentrações desse poluente que em meados de 1990.

Dados obtidos por Domingos (1998) e Klumpp *et al.* (1997) demonstraram haver baixas concentrações de compostos gasosos de enxofre no ar de Paranapiacaba. Entretanto, Mazzoni-Viveiros (1996) verificou o aporte de materiais particulados nas folhas de *T. pulchra* dessa área, principalmente o silício, o potássio, o cálcio e o ferro - sendo este também verificado em experimentos com *Lolium multiflorum*, por Domingos *et al.* (1998) - vindos, provavelmente, de Cubatão, já que a área poluída também apresentou a predominância dos mesmos. Portanto, essa poluição pode ter se depositado no solo, acentuando seus efeitos. Como a área de Paranapiacaba apresenta resquícios de poluição por fluoretos (Klumpp *et al.* 1994), pode também estar havendo uma influência destes no solo, afetando a absorção de água e sais minerais para os espécimes de *T. pulchra* (coleta 2003).

O fato de Paranapiacaba apresentar o maior índice pluviométrico, dentre as áreas estudadas, pode estar contribuindo para aumentar e/ou acelerar a deposição da poluição atmosférica presente,

ocasionando a poluição edáfica, podendo ser essa elevada precipitação úmida um fator ambiental que colabora para os efeitos deletérios da poluição do local, como já havia sido comentado por Dässler & Börtitz (1988).

V.3) PLASTICIDADE FENOTÍPICA NO LENHO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

As características do lenho, avaliadas no presente trabalho para as duas espécies, apresentaram alta plasticidade fenotípica, inclusive na área controle (Tabelas 6 a 10, Fig. 51 a 56).

As diferentes metodologias empregadas para a avaliação da plasticidade do lenho em *T. pulchra* demonstraram não haver sequer uma característica que permanecesse estável (não plástica) quando todas as situações foram consideradas. Isso demonstra a potencialidade dos constituintes celulares do lenho em responderem a modificações impostas pelos diferentes estresses ambientais.

A plasticidade fenotípica verificada no lenho de *M. cinnamomifolia* foi avaliada somente com os poucos espécimes das diferentes áreas, não tendo sido possível a análise com um número maior de indivíduos na área controle (Tabelas 9 e 10). Pode-se, mesmo assim, verificar que o lenho dessa espécie se apresenta mais plástico que o de *T. pulchra* quando todos os indivíduos são analisados de forma conjunta (Tabela 8 e 10), porém menos plástico quando somente os espécimes da área controle são comparados (Tabelas 7 e 9).

Confrontando-se as Tabelas 4 e 5 com as Tabelas 6 a 8, pode-se verificar que características que se apresentaram não plásticas em *T. pulchra*, em condição controle (Tabela 6), apresentaram diferenças significativas ao se comparar os dados da área controle com da poluída (Tabela 4), reforçando que a alteração apresentada na área poluída se deva a fatores que diferenciam uma área da outra, ou seja os relacionados aos poluentes atmosféricos. Quando se compara a Tabela 6 com a Tabela 7, ambas referentes aos dados da área controle, somente a frequência do raio, dentre as que características que se apresentam com diferenças significativas entre área controle e poluída, é que não se mostrou plástica. Na Tabela 6, no entanto, tanto essa característica como o comprimento do raio,

porcentagem de vaso geminado, comprimento e espessura de parede de fibra se mostraram não plásticas na área controle e só foram alteradas significativamente na presença dos poluentes (Tabela 4).

A análise da plasticidade no lenho de *M. cinnamomifolia* não apresentou a mesma relação, já que maior número de características se apresentaram estáveis na área controle (Tabelas 9 e 10), com a maioria das plásticas sendo as que aparecem com diferenças significativas quando os espécimes da área controle são comparados com o da área poluída (Tabela 4). Tais resultados demonstram que mesmo na ausência da poluição algumas dessas características se apresentam plásticas, com maior amplitude de variação na área poluída a ponto de que as diferenças sejam estatisticamente significativas. Somente alguns parâmetros de vaso (diâmetro, espessura de parede e comprimento) e comprimento de fibra não variaram na área controle e tiveram diferenças significativas quando os dados da área controle foram comparados com os da área poluída.

A plasticidade fenotípica do lenho pode ser um dos motivos pelo qual a espécie *T. pulchra* é encontrada em maior quantidade na Mata Atlântica, dominando todas as clareiras e bordas da mata, não deixando praticamente espaço para o estabelecimento de outras espécies, porém compartilhando-o com espécimes de *M. cinnamomifolia* principalmente na área poluída (Pompéia 1997). A menor frequência de *M. cinnamomifolia*, apesar de apresentar um lenho mais plástico do que o de *T. pulchra* na área poluída (Tabelas 8 e 10), mostra que somente esse aspecto não permite fazer qualquer afirmação sobre o sucesso no estabelecimento da espécie na área, lembrando, inclusive, que as alterações que ocorrem nem sempre são adaptativas (Sultan 1995). Foi, talvez, por esse motivo que não foram encontrados espécimes de *M. cinnamomifolia* na área controle em número suficiente para um estudo de plasticidade fenotípica mais abrangente, como foi feito para *T. pulchra*.

O elevado dimorfismo de vaso e fibras verificado pelo estudo de plasticidade fenotípica em *M. cinnamomifolia* (Fig 2 e 16) e, por Mazzoni-Viveiros (1996,200), em *T. puchra*, pode estar relacionado ao papel sucessional das duas espécies. Sendo secundárias iniciais (pioneiras secundárias),

as duas espécies se estabelecem em ambientes abertos, expostos à luminosidade solar direta, o que pode, em certos momentos, ocasionar um estresse hídrico, sendo necessário, no lenho, características que permitam a garantia do fluxo hídrico nas condições adversas, como o referido dimorfismo ressaltado por Carlquist (1988).

Pelos resultados obtidos através das metodologias empregadas para o estudo de plasticidade fenotípica - análise de três espécimes de cada área para os lenhos de *T. pulchra* e de *M. cinnamomifolia* e análise em dez espécimes da área controle para *T. pulchra* - verifica-se que uma mesma característica teve respostas diferentes nos dois métodos aplicados, como ocorreu para a frequência de vasos geminados, o comprimento e a espessura de parede das fibras e a frequência dos raios. Da mesma forma, a análise de grande quantidade de dados para uma mesma característica em poucos espécimes apresenta resultados distintos daqueles com poucos dados em número elevado de indivíduos (Tabelas 6 e 7). Mesmo quando o número de indivíduos é semelhante (Tabelas 6 e 8), mas maior número de dados são obtidos em espécimes de áreas distintas, alguns resultados aparecem, inclusive, invertidos (frequência de vasos geminados, diâmetro, lume, comprimento e espessura de parede de fibras, comprimento e frequência de raio).

Dentre as metodologias empregadas para a análise da plasticidade fenotípica em lenho de *T. pulchra* e *M. cinnamomifolia* observou-se que o estudo de amostras de vários espécimes em área controle demonstrou-se adequado para o levantamento dos aspectos do lenho mais estáveis na ausência do estresse a ser avaliado; no entanto, a análise dos espécimes das três áreas, com uma maior quantidade de variáveis ambientais, fornece informações adicionais que dão maior segurança na seleção dos aspectos relacionados ao estresse específico.

Os dados confirmam os de Mazzoni-Viveiros (1996), quanto à alta plasticidade do lenho de *T. pulchra* (coleta 1990), e demonstram essa mesma plasticidade em outra espécie da família, *M. cinnamomifolia*, plasticidade que pode estar contribuindo para o sucesso de ambas as espécies como secundárias iniciais.

VI) CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado demonstrou que as características qualitativas e quantitativas do lenho, de *Miconia cinnamomifolia* estão de acordo com o descrito para a família, confirmando a adequação da terminologia “agrupamento fibro-parenquimático” para o grupo de células anteriormente denominado “pseudoparenquima”.

Pela comparação dos dados levantados do lenho de *T. pulchra* para os diferentes períodos verificou-se, por exemplo, que o padrão anatômico das amostras coletadas na área controle em 2003 se assemelhou àquele dos espécimes provenientes da área poluída cujas amostras foram coletadas tanto em 1990 como 2003, sugerindo que a área controle esteja sendo afetada por poluentes atmosféricos existentes na região.

Pelo estudo de plasticidade no lenho realizado nas duas espécies, conclui-se que ambas apresentam elevada plasticidade, com *T. pulchra* apresentando lenho com características mais plásticas do que *M. cinnamomifolia* na área controle. Ressalta-se que a utilização de dez espécimes de *T. pulchra* na área controle pareceu ser o método mais adequado para a análise da plasticidade do lenho em condições naturais. Dentre as características avaliadas para *T. pulchra*, apenas porcentagem de vasos geminados, comprimento e espessura de parede de fibra e frequência e comprimento dos raios não se apresentaram plásticas na condição controle, demonstrando serem as mais adequadas à análise de um fator específico. No entanto, a análise do lenho de todos os espécimes foi essencial para a confirmação dos aspectos mais sensíveis à poluição atmosférica. Para *M. cinnamomifolia*, as características mais adequadas parecem ser diâmetro, espessura de parede, comprimento do elemento de vaso e comprimento de fibra, com somente esta última sendo comum às duas espécies.

A tendência do lenho da área poluída foi apresentar estratégia hídrica para a garantia do fluxo, caracterizada pela maior frequência de vasos, vasos mais estreitos, elementos de vasos curtos, fibras gelatinosas e agrupamento de vasos. Como as amostras de lenho estudadas eram provenientes de espécimes da Mata Atlântica, onde o índice pluviométrico é elevado durante todo o ano, seriam

esperados elementos de vasos e fibras maiores, devido ao maior turgor que, provavelmente, estaria ocorrendo nas células iniciais do câmbio vascular. Portanto, o que provavelmente deve estar acontecendo é uma indisponibilidade hídrica fisiológica, devido às alterações ocorridas no solo pela deposição de substâncias antropogenicamente emitidas, com a poluição atmosférica causando no lenho, de forma direta ou indireta, um estresse semelhante ao hídrico ou induzindo o espécime a respostas metabólicas semelhantes às aquelas que ocorrem sob o mesmo. Parece que uma provável indisponibilidade hídrica periódica na Mata Atlântica poderia levar, inclusive, à acentuação dos efeitos deletérios dos poluentes atmosféricos.

A tendência do lenho na área poluída foi apresentar, também, uma estratégia nutricional caracterizada pela maior frequência de raios e maior ocorrência de fibras vivas que assumem a função de parênquima. A maior quantidade de raios e fibras vivas (como as fibras nucleadas e septadas) pode ser devido à tentativa em manter o fluxo hídrico constante no interior dos vasos dos espécimes da área poluída, estando além de envolvida com o suprimento nutricional, também com uma estratégia hídrica, como sugere Braun (1984) ao afirmar que a atividade dos tecidos acessórios nos trópicos é alterada com a transpiração. A redução no número de folhas e ramos, na área foliar, bem como em sua biomassa, em *T. pulchra* da área poluída, segundo Moraes (1999), pode ter levado a uma diminuição de sua taxa transpiratória, sendo que o mesmo pode ter acontecido com *M. cinnamomifolia*, refletindo no incremento do parênquima radial e a maior quantidade de fibras vivas.

A elevada plasticidade do lenho pode estar colaborando para a elevada frequência de ambas as espécies na área poluída, uma vez que ela pode ser adaptativa e possibilitar a permanência dos espécimes nessa área extremamente hostil. É possível que a plasticidade fenotípica esteja direcionando a seleção de determinadas características, conforme ressaltado por Schlichting (1986), no lenho de espécimes de *T. pulchra* coletado em 2003 na área poluída, já que, diferentemente dos espécimes da coleta de 1990 há uma tendência para a acentuação de características relacionadas à garantia do fluxo hídrico e à estratégia nutricional.

Como em todas as áreas do estudo não há uma estação seca bem definida, como em ambientes mais xerofíticos, as respostas dos constituintes do lenho verificadas são, provavelmente, atribuídas à condição existente não só em seu solo - com elevada quantidade de matéria orgânica que altera a disponibilidade dos nutrientes, como verificado por Mayer & Lopes (1997) - como pelas suas respectivas peculiaridades atmosféricas, com altas concentrações de poluentes gasosos e partículas suspensas no ar. Os resultados encontrados por Mazzoni-Viveiros & Trufem (2004) colaboram com essa proposta, já que na rizosfera de espécimes de *T. pulchra* provenientes da área poluída é que foram encontrados esporos de fungos micorrízicos arbusculares típicos de solos ácidos, em maior diversidade e frequência que nos provenientes da área controle, bem como uma maior porcentagem de associações micorrízicas em um maior número de raízes finas, que são as maiores responsáveis pelo suprimento de nitrogênio em angiospermas arbóreas.

Os dados mostraram, inclusive, que mesmo com a diminuição da poluição atmosférica na área, registrada pela CETESB (2003), a estrutura do lenho nas áreas estudadas, principalmente em espécimes de *T. pulchra*, ainda se encontra alterada, inclusive na área considerada o controle, apresentando sintomatologia semelhante àquela de espécimes da área poluída de mais de dez anos atrás.

É importante ressaltar, porém, que uma arquitetura hidráulica eficiente é apenas uma das formas alternativas para a planta estar hábil para sobreviver em situações de estresse, podendo coexistir ou ser substituída por adaptações em outros órgãos ou em processos fisiológicos, como afirma Lindorf (1994). As tendências ecológicas do lenho devem ser vistas em combinação com outros aspectos da biologia das plantas, já que não é apenas um único tecido que irá ser responsável pela adaptação a uma situação de estresse, e sim todo o corpo vegetal.

VII) RESUMO

Estudos em anatomia ecológica do lenho vêm sendo realizados para verificar a influência de fatores ambientais sobre as características estruturais deste tecido nas plantas. O presente trabalho buscou identificar possíveis estratégias que o lenho de espécies consideradas tolerantes à poluição atmosférica, proveniente de Cubatão, possa apresentar. O trabalho foi realizado pela análise comparativa do lenho de espécimes oriundos de três áreas na Serra do Mar, distintas quanto à poluição atmosférica (Vale do Rio Pilões, Reserva Biológica de Paranapiacaba e Vale do Rio Moji). Amostras de lenho das espécies em estudo, *Tibouchina pulchra* Cogn. e *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naud., pioneiras secundárias nativas da Mata Atlântica, foram coletadas em 1990 e 1991 e, para comparação, amostras da primeira espécie foram também coletadas em 2003. As microscopias fotônica e eletrônica possibilitaram a análise das características quali e quantitativas das amostras, sendo que as últimas foram submetidas a tratamentos estatísticos adequados. Verificou-se que as amostras do lenho de *T. pulchra*, coletadas em 2003, nas áreas de Paranapiacaba, Vale do Rio Pilões e Vale do Rio Moji, quando comparadas com as amostras de 1990, sugerem o aumento da poluição atmosférica na região, pois apresentam maior ocorrência de características que refletem deficiência nutricional e maior garantia ao fluxo hídrico. Fibras gelatinosas em grande quantidade ocorreram em todas as amostras de lenho de *T. pulchra* e *M. cinnamomifolia* provenientes de Paranapiacaba, provavelmente relacionadas às condições ambientais específicas dessa área, principalmente quanto à umidade e topografia. As duas espécies demonstraram apresentar plasticidade fenotípica no lenho, sendo que das catorze características analisadas em *T. pulchra*, nove a onze delas foram plásticas, dependendo da amostragem considerada, em contraste com sete a treze em *M. cinnamomifolia*. Apesar dessa última espécie apresentar características do lenho mais plásticas, sua frequência na área poluída é menor que a de *T. pulchra*, mostrando que esse fator isoladamente não confere vantagens suficientes para seu estabelecimento na área. Essa plasticidade, inclusive, pode estar sendo negativa, caso as alterações não forem suficientemente adaptativas. Comparando-se as duas metodologias utilizadas para a análise da

plasticidade do lenho, constata-se que a utilização de um menor número de dados em um maior número de indivíduos provenientes de uma mesma área forneceu informação diferente daquela em que um grande número de dados foi obtido a partir de um pequeno número de indivíduos, seja de mesma área ou de áreas distintas. A análise com o menor número de dados e maior número de indivíduos da área controle foi, porém, a que forneceu dados mais coerentes quando os dados da área poluída foram analisados. Observou-se, através da comparação das amostras provenientes do Vale do Rio Moji (área poluída) e do Vale do Rio Pilões (área controle), que as oriundas da área poluída apresentaram características relacionadas tanto à garantia do fluxo hídrico (maior porcentagem de vasos geminados, maior frequência de vasos, menor diâmetro e comprimento dos elementos de vasos, maior ocorrência de células perfuradas de raio) como à possível estratégia nutricional (maior frequência de parênquima radial e de fibras vivas com paredes finas). O estudo demonstrou, nas espécies estudadas, que a presença de camadas de crescimento, fibras nucleadas e células perfuradas de raio são características do lenho adequadas à análise do estresse causado por poluentes atmosféricos no ambiente avaliado. Apesar de muitas das características quantitativas responderem a diferentes tipos de estresse, e de forma diferente nas espécies analisadas, a avaliação da plasticidade do lenho demonstrou como as mesmas se comportam na condição controle, permitindo diagnosticar aquelas mais adequadas para o estudo em cada espécie. A presença de camadas de crescimento, especialmente nas amostras da área poluída, sugere que há uma sazonalidade na área de Mata Atlântica estudada, que foi maximizada pela poluição atmosférica local.

VIII) ABSTRACT

Wood ecologic anatomy studies have been realized to verify the environmental influence on the structural characteristics of this tissue. The present work looked for to identify possibles strategies that the wood of species considered resistant to the atmospheric pollution, of Cubatão, can have. The work was realized with comparative analysis of wood from specimens of three areas of Serra do Mar, that are distinguish with respect to the atmospheric pollution (Pilões River Valley, Paranapiacaba and Moji River Valley). Wood samples of the *Tibouchina pulchra* Cogn. and *Miconia cinnamomifolia* (D.C.) Naud., native secondary pioneers of Atlantic Forest, were collected in 1990 and 1991 and, for comparison, samples of first specie were collected in 2003, too. The quali and quantitative characteristics analysis of the samples were taken from light and scanning microscopy, the quantitative ones were subjected to statistical treatments. It was certificated that the wood samples of the *T. pulchra* from the three areas collected in 2003, when compared on the samples collected in 1990, suggest the increase of the atmospheric pollution, whereas there are major occurrence of the characteristics with propose nutritional lack and bigger guarantee of the water flood. Abundance on gelatinous fibers occurred in all Paranapiacaba wood samples of the *T. pulchra* e *M. cinnamomifolia*, perhaps because its specific behavior conditions, mainly topography and humidity. The two species showed high wood phenotype plasticity, among the fourteen characteristics available in *T. pulchra*, nine to eleven of them were plastics, depending on the sample used, opposing seven to thirteen in *M. cinnamomifolia*. Although this last species show wood characteristics more plastic, there are less individuals in the polluted area than *T. pulchra*, showing that only this aspect isn't enough to guarantee some advantage to its establishment in the area. Between the two methods used to the wood plasticity analyses, it is better use less data and bigger number of specimens from the same area than a major number of data with minor number of specimens, from the same or another area. The analyses with the bigger number of specimens with few data showed to be better to the comparative analyses of samples from polluted area. Have been seen, through the comparison of the samples of the Moji River

Valley (polluted area) and of the Pilões River Valley (control area) that the ones of polluted area had similar characteristics of those related to the water safety (as major vessel geminate percent, more perforated ray cells, major vessel frequency and minor vessel elements diameter and length); as characteristics related to possible nutritional strategy (major radial parenchyma frequency and live fibers with thin walls). The present study gave evidence that the presence of growth rings, nucleated fibers and perforate ray cell are the better characteristics to available the stress caused by atmospheric pollution in wood from these species, in the studied areas. Although these quantitative wood characteristics were affected by the different stresses, being different in each species, the plasticity analyses showed as the characteristics occur in the control area, diagnosing the better of them to the each species study. The growth rings presence, in polluted area specially, suggests that there is seasonality in the Atlantic Forest area studied, that can be maximize by the local atmospheric pollution.

IX) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aidar, M.P.M., Pompéia, S.L. & Chimelo, J.P. 1989.** Espécies arbóreas da Serra do Mar sensíveis à poluição atmosférica do polo industrial de Cubatão – SP. Relatório Técnico CETESB, São Paulo.
- Alloway, B.J. & Ayres, D.C. 1994.** Chemical principles of environmental pollution. Blackie Academic & Professional, London.
- Alves, E.S. 1995.** The effects of the pollution on wood of *Cecropia glazoui* (Cecropiaceae). IAWA Journal 16: 69-80.
- Alves, E.S. 1997.** Anatomia do lenho de algumas famílias arbóreas da flora brasileira, de acordo com diferentes ambientes. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Alves, E.S. & Angyalossy-Alfonso, V. 2001.** Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. IAWA Journal 21:31-40.
- Alves, E.S. & Angyalossy-Alfonso, V. 2002.** Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. IAWA Journal 23:391-418.
- Arndt, U., Flores, F. & Weinstein, L. 1995.** Efeitos do flúor sobre as plantas: diagnose de danos na vegetação do Brasil. Ed. Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Azmutat, H., Koltzenburg, C. & Weisz, W.J. 1986.** Untersuchung der Holzeigenschaften von Fichte und Buche aus immissionsexponierten Beständen von Hils und Solling. Holz als Roh-und Werkstoff 44:301.
- Baas, P. 1982.** Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy - History and perspectives. In: P. Baas (ed.). New perspectives in wood anatomy. Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, p.23-58.
- Baas, P. & Bauch, J. (eds.) 1986.** The effects of environmental pollution on wood structure and quality. IAWA Bull. 7:267-415.

- Barajas-Morales, J. 1985.** Wood structural differences between trees of two tropical forest in Mexico. IAWA Bull. 6:355-364.
- Barros, C.F. & Callado, C.H. (orgs.) 1997.** Madeiras da Mata Atlântica. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, v.1.
- Bauch, J. 1986.** Characteristics and response of wood in declining trees from forests affected by air pollution. IAWA Bull. 7:269-275.
- Bauch, J., Götsche-Kühn, H. & Rademacher, P. 1986.** Anatomisch Untersuchungen am Holz von gesunden und Kranken Baumen aus Waldschadensgebieten. Holzforschung 40:281-288.
- Bauch, J. & Michaelis, W. (orgs.) 1988.** Das Forschungsprogram Waldschäden am Standort, "Postturm", Forstamt Farchau/Ratzeburg. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht.
- Botosso, P.C. & Gomes, A.V. 1982.** Radial vessels and series perforated ray cells in Annonaceae. IAWA Bull. 3:39-44.
- Braun, H.J. 1984.** The significance of the accessory tissues of the hydrosystem for osmotic water shifting as the second principle of water ascent, with some thoughts concerning the evolution of trees. IAWA Bull. 5:275-294.
- Carlquist, S. 1975.** Ecological strategies in xylem evolution. Univer. California Press, Berkeley.
- Carlquist, S. 1977.** Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. American Journal of Botany 64:887-896.
- Carlquist, S. 1980.** Further concepts in ecological wood anatomy, with comments on recent work in wood anatomy and evolution. Aliso 9:499-553.
- Carlquist, S. 1988.** Comparative wood anatomy: Systematic, Ecological and Evolutionary aspects of Dicotyledons Wood. Springer Verlag, Berlin.

- Carlquist, S. & Hoekman, D.A. 1985.** Ecological wood anatomy of woody Southern California flora. IAWA Bull. 6:319-348.
- Ceccantini, G. 1996.** Anatomia ecológica do lenho em espécies de cerrado e mata: *Casearia sylvestris* Sw. e *Machaerium villosum* Vog. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CETESB 1991.** Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo - 1990. Série Relatórios. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- CETESB 1996.** Composição florística e estrutura da Mata Atlântica afetada pela poluição em Cubatão – SP. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- CETESB 2003.** Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo - 2002. Série Relatórios. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- Chang, C.W. 1975.** Fluorides. In: J.B. Mudd & T.T. Kozlowski. Responses of plants to air pollution. Academic Press, New York, p.57-96.
- Chimelo, J.P. & Mattos-Filho, A. 1988.** Preliminary wood structure observations of five hardwood species from different sites in Brazil. In: International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO). Anais of 5th Conference of International Union of Forestry Research Organization (IUFRO), São Paulo, p.100.
- COPANT - Comision Panamericana de Normas Tecnicas – 1969.** Glossário de términos usados em anatomia. Argentina, COPANT – R 182.
- COPANT - Comision Panamericana de Normas Tecnicas –1973.** Maderas: Descripcion de características generales, macroscopicas y microscopicas de la madera Angiospermae Dicotiledoneas, Argentina, COPANT 30:1-19.
- Corson, W.H. (ed.) 1993.** Manual global de ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio-ambiente. Ed. Augustus, São Paulo.

- Costa, C.G., Callado, C.H., Coradin, V.T.R. & Carmello-Guerreiro, S. 2003.** Xilema. *In:* B. Apezato-da-Glória. & S. Carmello-Guerreiro (eds.). Anatomia Vegetal. Ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p.129-154.
- Dässler, H.G. & Börtitz, S. 1988.** Air Pollution and its Influence on Vegetation. Dr W. Junk Publishers, Boston.
- De Temmerman, L., Bell, J.N.B., Garrec, J.P., Klumpp, A., Krause, G.H.M. & Tonneijck, A.E.G. 2004.** Biomonitoring of air pollutants with plants – considerations for the future. *In:* A. Klumpp, W. Ansel & G. Klumpp (eds.). Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness. Cuvillier Verlag, Göttingen, p.337-373.
- De Vuono, Y.S., Lopes, M.I.M.S. & Domingos, M. 1989.** Air pollution and effects on soil and vegetation of Serra do Mar, near Cubatão, São Paulo, Brazil. *In:* J.B. Bucher & I. Bucher-Wallin (eds.). 15th International Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems, Interlaken, p.396-398.
- Domingos, M. 1998.** Biomonitoramento da fitotoxidade da poluição e da contaminação do solo na região do complexo industrial de Cubatão, São Paulo, utilizando *Tibouchina pulchra* Cogn. como espécie bioindicadora. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Domingos, M., Klumpp, A. & Klumpp, G. 1998.** Air pollution impact on the Atlantic Forest in the Cubatão region, SP, Brazil. *Ciência e Cultura* 50:230-236.
- Domingos, M., Lopes, M.I.M.S. & Struffaldi-De Vuono, 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.
- Domingos, M., Bourotte, C., Klumpp, A., Klumpp, G. & Forti, M.C. 2002.** Impactos de poluição atmosférica sobre remanescentes florestais. *In:* D.C. Bicudo, M.C. Forti & E.M. Bicudo (orgs.).

Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. Editora Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, p.221-249.

Eckstein, D., Scholz, F. & Klein, H. 1995. Wood anatomical studies of cloned spruce trees fumigated with sulphur dioxide. *IAWA Journal* 16:299-309.

EMAE 2004. Departamento de Planejamento e Supervisão da Operação – Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A., Cubatão. <http://www.emae.sp.gov.br> (acesso em setembro/2004).

Esau, K. 1974. Anatomia das plantas com sementes. Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Esau, K. 1977. Anatomy of seed plants. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Fahn, A., Werker, E. & Baas, P. 1986. Wood anatomy and identification of trees and shrubs from Israel and adjacent regions. The Israel Acad. of Sciences and Humanities, Jerusalem.

Fahn, A. & Cutler, D. 1992. Xerophytes. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Figueiredo, J.G. 1994. Avaliação de gramíneas tropicais como bioindicadoras da presença do flúor. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Fink, S. 1986. Microscopical investigations on wood formation and function in diseased trees. *IAWA Bull.* 7:351-356.

Frühwald, A. 1986. Technological properties of wood from trees in polluted regions. *IAWA Bull.* 7:389-397.

Funari, F.L., Struffaldi-De Vuono, Y. & Salum, S.T. 1986. Balanço hídrico de duas áreas de Mata Atlântica: Reserva Biológica de Paranapiacaba e Parque Estadual da Ilha do Cardoso. *In: VI Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo, Campinas, p.95-101.*

Furlan, C.M. 2004. Efeitos de poluentes atmosféricos na composição química de indivíduos de jovens de *Tibouchina pulchra* (Cham.) Cogn. e *Psidium guajava* L. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Furlan, C. M., Salatino, A. & Domingos, M. 1999.** Leaf contents of nitrogen and phenolic compounds and their bearing with the herbivore damage to *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) under the influence of air pollutants from industries of Cubatão, São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica* 22:317-323.
- Gomes, A.V. & Muñiz, G.I.B. 1986.** Wood structure and ultrastructure of *Prosopis caldenia*, *P. chilensis* and *P. juliflora* and influence of ecological factors. In: Food Agriculture Organization. II International Conference on Prosopis, Recife, p.195-216.
- Gregory, R.A., Williams, M.W., Wong, B.L. & Hamley, G.J. 1986.** Proposed scenario for dieback and decline of *Acer saccharum* in Northeastern USA and Southeastern Canada. *IAWA Bull.* 7:357-369.
- Greve, U., Eckstein, D. & Scholz, F. 1983.** Holzbiologische Untersuchungen an Fichten Unterschiedlicher Immissionstoleranz. *Aquilo Ser. Bot.* 19:90-96.
- Greve, U.L., Eckstein, D., Scholz, F. & Schweingruber, F.H. 1985.** Holzbiologische Untersuchungen an Fichtenklonen unterschiedlicher Empfindlichkeit gegen eine HF-Begasung. *Angew. Bot.* 59:81-93.
- Hamrick, J.L., Linhart, Y.B. & Mitton, J.B. 1979.** Relationship between life history characteristics and eletrophoretically detectable genetic variation in plants. *Annual Rewiew of Ecology and Systematics* 10:173-200.
- IAWA Committee 1964.** Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. *Konkordia*, Winterthur.
- IAWA Committee 1989.** IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull.* 10:219-332.
- IAWA Committee 2004.** IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA Journal* 25:1-70.

- Izuta, T., Yamaoka, T., Nakaji, T., Yonekura, T., Yokoyama, M., Matsumura, H., Ishida, S., Yazaki, K., Funada, R. & Koike, T. 2001.** Growth, net photosynthetic rate, nutrient status and secondary seedlings grown in brown forest soil acidified with H₂SO₄ solution. *Water, Air and Soil Pollution* 130: 1007-1012.
- Jaeschke, W. 1997.** Chemistry module. *In: D. Klockow, H.J. Targa & W. Vautz (eds.). Air Pollution and Vegetation Damage in the Tropics - The Serra do Mar as an Example*, Geesthacht, p.II.1-II.77.
- Johansen, D.A. 1940.** Plant microtechnique. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York.
- Joly, C.A., Leitão Filho, H.F. & Silva, S.M. 1991.** Vegetação da Mata Atlântica. *In: SOS Mata Atlântica*. Editora Index, São Paulo.
- Klumpp, A., Klumpp, G. & Domingos, M. 1994.** Plants as bioindicators of air pollution at Serra do Mar near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *Environmental Pollution* 85:109-116.
- Klumpp, A., Klumpp, G., Domingos, M. & Silva, M.D. 1996.** Fluoride impact native tree species of the Atlantic Forest near Cubatão, Brazil. *Water, Air, and Soil Pollution* 87:57-71.
- Klumpp, A., Domingos, M., Klumpp, G. & Guderian, R. 1997.** Vegetation module. *In: D. Klockow, H.J. Targa & W. Vautz (eds.). Air Pollution and Vegetation Damage in the Tropics - The Serra do Mar as an Example*, Geesthacht, p.V.1-V.47.
- Klumpp, A., Domingos, M. & Pignata, M.L. 2000a.** Air pollution and vegetation damage in South América - state of knowledge and perspectives. *In: S.B. Agrawal & M. Agrawal (eds.). Environmental pollution and plant responses*. Lewis Publishers, Boca Raton, p.111-136.
- Klumpp, A., Domingos, M. & Klumpp, G. 2002.** Foliar nutrient contents in trees species of the Atlantic Rain Forest as influenced by air pollution from de industrial complex of Cubatão, SE-Brazil. *Water, Air, and Soil Pollution* 133: 315-333.
- Klumpp, G., Klumpp, A., Domingos, M. & Guderian, R. 1995.** *Hemerocallis* as bioindicator of fluoride pollution in tropical countries. *Environmental Monitoring and Assessment* 35:27-42.

- Klumpp, G., Furlan, C.M., Domingos, M. Klumpp, A., 2000b.** Responses of stress indicators and grown parameters of *Tibouchina pulchra* Cogn. exposed to air and soil pollution near the industrial complex of Cubatão, Brazil. *Sci. Total Environ.* 246:79-91.
- Kort, I. 1986.** Wood structure and growth ring width of vital and non-vital Douglas Fir (*Pseudotsuga menziessi*) from a single stand in The Netherlands. *IAWA Bull.* 7:309-318.
- Kurjatko, S., Cunderlik, I. & Racko, J. 1990.** Wood properties of beech from stand affected by pollution. *IAWA Bull.* 11:129.
- Koslowski, T.T., Kramer, P.J. & Pallardy, S.G. 1991.** The physiological ecology of wood plants. Academic Press, Inc., San Diego.
- Lambers, H., Chapin III, F.S. & Pons, T.L. 1998.** Plant physiological ecology. Springer-Verlag, New York.
- Larcher, W. 2000.** *Ecofisiologia Vegetal*. Rima, São Paulo.
- Leitão Filho, H. (org.) 1993.** *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. Ed. UNESP/ Ed. UNICAMP, São Paulo.
- Leme, C.L.D. 1994.** Anatomia comparada do lenho do caule, raiz e ramos de algumas espécies de Euphorbiaceae da Mata Atlântica. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lerman, S.L. & Darley, E.F. 1975.** Particulates. In: J.B. Mudd & T.T. Kozlowski. Responses of plants to air pollution. Academic Press, New York, p.141-158.
- Levitt, J. 1980.** Responses of plants to environmental stress. Academic Press, New York, v.2.
- Likens, G.E., Bormann, F.H. & Johnson, N.M. 1972.** Acid rain. *Environment* 14:33-40.
- Lindorf, H. 1994.** Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. *IAWA Journal* 15:361-376.

- Loveless, M.D. & Hamrick, J.L. 1984.** Ecological determinants of genetic structure in plant populations. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15:65-95.
- Luchi, A.E. 1990.** Estudo anatômico do lenho em espécies de mata ciliar da Serra do Cipó (MG). Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Luchi, A.E. 1998.** Periodicidade de crescimento em *Hymenaea courbaril* L. e anatomia ecológica do lenho de espécies de mata ciliar. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Luchi, A.E. 2004.** Anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. *Revista Brasileira de Botânica* 27:271-280.
- Macêdo, J.A.B. (ed.) 2002.** Introdução à Química Ambiental (Química & Meio Ambiente & Sociedade). Jorge Macêdo, Juiz de Fora.
- Mantovani, W. 2003.** A degradação dos biomas brasileiros. In: W.C. Ribeiro (org.). Patrimônio ambiental brasileiro. Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo, p.367-439.
- Marcati, C.R., Angyalossy-Alfonso, V. & Benetati, L. 2001.** Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Casealpinoideae) de floresta e cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 24:311-320.
- Mayer, R., Liess, S. & Lopes, M.I.M.S. 1993.** Soil chemical status and processes as influenced by atmospheric deposition. In: I Shift – Workshop, Belém, p.35-37.
- Mayer, R. & Lopes, M.I.M.S. 1997.** Soil module. In: D. Klockow, H.J. Targa & W. Vautz (eds). Air pollution and vegetation damage in the tropics – The Serra do Mar as an example, Geesthacht, p.IV.1-IV.36.
- Mazzoni-Viveiros, S.C. 1986.** Aspectos anatômicos do lenho e sua importância na taxonomia da família Humiriaceae. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Mazzoni-Viveiros, S.C. 1996.** Aspectos estruturais de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) sob o impacto de poluentes atmosféricos provenientes do complexo industrial de Cubatão, SP - Brasil. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Mazzoni-Viveiros, S.C. 2000.** Diversificação do uso da anatomia: poluição atmosférica na Mata Atlântica. In: T.B. Cavalcanti & B.M.T. Walter (orgs.). Tópicos Atuais em Botânica Embrapa, Brasília, p.101-106.
- Mazzoni-Viveiros, S.C. & Luchi, A.E. 1989.** Adaptações anatômicas. In: L.M. Barbosa (coord.). Anais do Simpósio sobre Mata Ciliar, São Paulo, p.71-98.
- Mazzoni-Viveiros, S.C. & Trufem, S.F.B. 2004.** Efeitos da poluição aérea e edáfica no sistema radicular de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) em área de Mata Atlântica: associações micorrízicas e morfologia. Revista Brasileira de Botânica 27:337-348.
- McLaugherty, C.A., Aber, J.D. & Melillo, J.M. 1982.** The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of 2 forested ecosystems. Ecology 63:1481-1490.
- Metcalfe, C.R. & Chalk, L. 1950.** *Anatomy of the Dicotyledons*. Clarendon Press, Oxford, v.1, p.637-649.
- Mina-Rodrigues, E.M.C. 1986.** Estudo morfo-anatômico dos órgãos vegetativos de *Pera glabrata* Baill. (Euphorbiaceae) em material procedente de mata mesófila semidecídua e de cerrado. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Moraes, R.M. 1999.** Fotossíntese líquida e respostas bioindicadoras da poluição aérea em indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae), em Cubatão, SP. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Moraes, R.M., Struffaldi-De Vuono, Y. & Domingos, M. 1995.** Aspectos da decomposição da serapilheira em floresta tropical preservada e sujeita à poluição atmosférica, no Estado de São Paulo, Brasil. Hoehnea 22:91-100.

- Moraes, R.M., Delitti, W.B.C. & Moraes, J.A.P.V. 2000.** Respostas de indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. à poluição aérea de Cubatão, SP: fotossíntese líquida, crescimento e química foliar. *Revista Brasileira de Botânica* 23:441-447.
- 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* 28:367-374.
- Moraes, R.M.; Delitti, W.B.C. & Moraes, J.A.P.V. 2003.** Gas exchange, growth, and chemical parameters in a native Atlantic forest tree species in polluted areas of Cubatão, Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 54:339-345.
- Mudd, J.B. 1975.** Sulfur Dioxide. *In*: J.B. Mudd & T.T. Kozlowski (eds.). Responses of plants to air pollution. Academic Press, New York, p.9-22.
- Normand, D. 1972.** Manuel d'identification des bois commerciaux. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne.
- Odukoya, O.O., Arowolo, T.A. & Bamgbose, O. 2000.** Pb, Zn and Cu levels in tree barks as indicator of atmospheric pollution. *Environment International* 26:11-16.
- OECD 1989.** Organization for Economic Cooperation and Development, Environmental data compendium 1989. Oecd, Paris, p.17.
- Panshin, A.J. & Zeeuw, C. 1980.** Textbook of wood technology, McGraw-Hill, New York.
- Paviani, T.I. 1978.** Anatomia vegetal e cerrado. *Ciência e Cultura* 30:1076-1086.
- Phólio, M.H.O. & França, S.C. 1989.** Poluição. Série Educação Ambiental – Programa de Ed. Ambiental do Vale do Ribeira. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria do Meio Ambiente e Secretaria da Educação, São Paulo, v.6.
- Pompéia, S.L. 1997.** Sucessão secundária da Mata Atlântica em áreas afetadas pela poluição atmosférica de Cubatão - SP. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Pompéia, S.L. 2000.** Respostas das Plantas nativas Brasileiras à Poluição. *In:* W. Larcher (ed.). *Ecofisiologia Vegetal*. Ed. Rima, São Carlos, p.449-454.
- Record, S.J. & Mell, C.D. 1924.** *Timbers of Tropical America*. Yall University Press, London.
- Rengel, Z. 1996.** Uptake of aluminium by plant cells. *The New Phytologist* 134:407-412.
- Rizzini, C.T. 1997.** *Tratado de Fitogeografia do Brasil. Âmbito Cultural Edições Ltda*, Rio de Janeiro.
- Roberts, L.W., Gahan, P.B. & Aloni, R. 1988.** *Vascular differentiation and plant growth regulators*. Springer-Verlag, Berlin.
- Romero, R. & Martins, A.B. 2002.** Melastomataceae do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 25:19-24.
- Scheiner, S.M. 1993.** Genetics and evolution of phenotypic plasticity. *Annual Review of Ecology & Systematics* 24:35-68.
- Schlichting, C.D. 1986.** The Evolution of Phenotypic Plasticity in Plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:667-693.
- Shortle, W.C. & Bauch, J. 1986.** Wood characteristics of *Abies balsamea* in the new England States compared to *Abies alba* from sites in Europe with decline problems. *IAWA Bull.* 7:375-387.
- SMA 1989.** *Recomposição da vegetação da Serra do Mar em Cubatão. Série Pesquisa*, São Paulo.
- SMA 1990.** *A Serra do Mar: degradação e recuperação. Série Documentos*, São Paulo.
- SMA 2000.** *Recuperação de áreas degradadas da Serra do Mar e formações florestais litorâneas. Série Documentos Ambientais*, São Paulo.
- SOS Mata Atlântica 1991.** *Mata Atlântica. Editora Index*, São Paulo.
- Spitze, K. & Sadler, T.D. 1996.** Evolution of a generalist genotype: multivariate analysis of the adaptativeness of phenotypic plasticity. *The American Naturalist* 148:S108-S123.

- Stabentheiner, E., Gross, A., Soja, G. & Grill, D. 2004.** Air quality assessment in Graz/Austria using monitoring plants. *In: A. Klumpp, W. Ansel & G. Klumpp (eds.). Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness. Cuvillier Verlag, Göttingen, p.51-57.*
- Sultan, S.E. 1995.** Phenotypic plasticity and plant adaptation. *Acta Bot. Neerl.* 44:363-383.
- Sylvestre, L.S. & Rosa, M.M.T. (orgs.) 2002.** Manual metodológico par estudos botânicos na Mata Atlântica. Editora Universidade Rural, Seropédica.
- Szabo, A.V. 1999.** Conteúdos de enxofre e tióis e parâmetros de crescimento em indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. expostos à poluição aérea, na região do pólo industrial de Cubatão, São Paulo. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Szabo, A.V., Domingos, M., Rinaldi, M.C.S. & Delitti, W.B.C. 2003.** Acúmulo foliar de enxofre e suas relações com alterações no crescimento de plantas jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae) expostas nas proximidades do polo industrial de Cubatão, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 26:379-390.
- Targa, H.J. & Klockow, D. 1997.** Introduction. *In: D. Klockow, H.J. Targa & W. Vautz (eds). Air pollution and vegetation damage in the tropics – The Serra do Mar as an example, Geesthacht, p.I.1-1.10.*
- Taylor, O.C., Thompson, C.R., Tingey, D.T. & Reinert, R.A. 1975.** Oxides of Nitrogen. *In: J.B. Mudd & T.T. Kozlowski (eds.). Responses of plants to air pollution. Academic Press, New York, p.122-140.*
- Ter Welle, B.J.H. & Koek-Noorman, J. 1981.** Wood anatomy of the neotropical Melastomataceae. *Blumea* 27:335-394.
- Tremper, A.H., Burton, M.A. & Higgs, D.E.B. 2004.** Traffic related particles and their associated metals: influences on stress response in mosses at roadsides. *In: A. Klumpp, W. Ansel & G.*

Klumppp (eds.). Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness. Cuvillier Verlag, Göttingen, p.233-242.

Villagra, P.E. & Juñent, R.F.A. 1997. Wood structure of *Prosopis alpataco* and *P. argentina* growing under different edaphic conditions. IAWA Journal 18:37-51.

Vliet, G.J.C.M. van, 1981. Wood anatomy of the Paleotropical Melastomataceae. Blumea 27:395-462.

Vliet, G.J.C.M. van, Koek-Noorman, J. & Ter Welle, B.J.H. 1981. Wood anatomy, classification and phylogeny of the Melastomataceae. Blumea 27:463-473.

Zimmermann, M.H. 1982. Functional xylem anatomy of angiosperm trees. *In*: P. Baas (ed.). New perspectives in wood anatomy. Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, p.59-70.

Zimmermann, M.H. & Brown, C.L. 1971. Trees structure and function. Springer-Verlag, Berlin.