

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E PERFIS QUÍMICOS DE FOLHAS DE *Avicennia schaueriana* STAPF. & LEECH. EX MOLDENKE E *Rhizophora mangle* L. DE MANGUEZAIS IMPACTADOS E NÃO IMPACTADOS DO LITORAL PAULISTA

ANATOMICAL CHARACTERIZATION AND CHEMICAL PROFILES OF *Avicennia schaueriana* AND *Rhizophora mangle* LEAVES FROM IMPACTED AND NOT IMPACTED MANGROVES OF SÃO PAULO

João Marcelo Silva¹, Maria Bernadete Gonçalves Martins²
& Alberto José Cavalheiro³

Enviado em outubro de 2007, aprovado em novembro de 2010.

RESUMO:

Atualmente, os ecossistemas conhecidos como manguezais têm sido foco das mais variadas pesquisas, envolvendo estudos de fauna, flora, ecologia, entre outros. A demanda por conhecimentos sobre esse ecossistema provém, principalmente, da necessidade de se compreender as conseqüências das atuais e futuras ações humanas. No presente estudo, objetivou-se caracterizar a anatomia e comparar, juntamente com os perfis químicos, folhas de *Avicennia schaueriana* e *Rhizophora mangle*, provenientes de manguezais impactados (estuário do município de Santos) e não impactados (estuário do município de Peruíbe) do litoral de São Paulo, correlacionando as possíveis diferenças com fontes de impacto ambiental de cada área. Para *A. schaueriana* não foram observadas diferenças significativas com relação aos aspectos anatômicos. Já para *R. mangle*, observou-se maior densidade estomática em folhas do ambiente impactado, bem como aumento na espessura do parênquima paliçádico, diminuição do parênquima esponjoso e expansão da região dos feixes vasculares, na nervura central. Com relação à análise química, os grupos dos compostos apontados nos perfis cromatográficos diferem em quantidade e qualidade para *R. mangle* e apenas em quantidade para *A. schaueriana*.

Doi: 10.5007/2178-4574.2010v39p14

¹Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP (Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, CP 9, Piracicaba, SP, Brasil), E-mail: joaosil@ciagri.usp.br;

² Universidade Estadual Paulista – UNESP Campus Experimental do Litoral Paulista (Praça Infante Dom Henrique, s/n, 11330-900, São Vicente, SP, Brasil), E-mail: bernadete@csv.unesp.br;

³ Universidade Estadual Paulista – UNESP Instituto de Química (R. Francisco Degni, s/n, 14800-900, Araraquara, SP, Brasil), e-mail: albjcava@iq.unesp.br.

Fonte financiadora: Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP. Processo n° 2007/00721-9.

 Este artigo é de Acesso Livre, disponibilizado sob os termos da Creative Commons Attribution 3.0 Unported License (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>) que permite uso não-comercial, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que este trabalho original seja devidamente citado.

Palavras chaves: Manguezais; anatomia foliar; impacto ambiental; Santos; Peruíbe.

ABSTRACT:

Currently, ecosystems known as mangroves have been focus of many researches, concerning fauna, flora, ecology and others. The demand for knowledge about this eco-system comes mainly, from the need to understand consequences of current and future human actions. This study aims to characterize the anatomy and compare, together with chemical profiles, leaves of *Avicennia schaueriana* and *Rhizophora mangle*, from impacted (estuary of the city of Santos) and non impacted (estuary of the city of Peruíbe) mangroves of the São Paulo coast, correlating possible differences with sources of environmental impact from each area. For *A. schaueriana*, no significant differences were observed related to anatomical analyzed aspects. For *R. mangle*, there was a higher stomatic density on leaves from the impacted environment, increase of thickness in the palisade parenchyma, decreased of thickness in the spongy parenchyma and expansion of the main vascular bundle region. Chemical analysis showed that the groups of compounds showed in chromatographic profiles differ in quantity and quality for *R. mangle* and only in quantity for *A. schaueriana*.

Keywords: Mangroves; leaf anatomy; environmental impact; Santos; Peruíbe.

INTRODUÇÃO

A flora dos manguezais é composta por halófitas, cujas espécies são adaptadas a ambientes salinos, com pouco oxigênio e frequentemente inundados pelas marés (Rezende & Cliquet 2004). As principais espécies de mangue são plantas de porte arbóreo, dentre as quais se destacam: o mangue preto ou siriúba (*Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke), o mangue vermelho ou bravo (*Rhizophora mangle* L.), e o mangue branco ou tinteira (*Laguncularia racemosa* Gaertn). Além de uma variedade de vegetais como: bromélias, samambaia do mangue, espécies de gramíneas do gênero *Spartina* (Poaceae), líquens e algas (Rezende & Cliquet 2004).

A espécie *A. schaueriana* (Avicenniaceae) caracteriza-se como uma árvore com casca lisa, de cor castanho-claro, que apresenta cor amarela quando raspada (Sugiyama 1995). Tomlinson (1986) observou que as raízes apresentam estruturas de pneumatóforos (finos e longos, atingindo até 20 cm), que auxiliam na oxigenação e que as folhas apresentam coloração verde clara, com ápice arredondado, e possuem glândulas que expelem sal.

Sugiyama (1995) caracterizou o mangue vermelho, *Rhizophora mangle* (Rhizophoriaceae), como uma árvore de casca lisa e clara, que ao ter o tronco raspado mostra cor vermelha. A mesma autora afirma que *R. mangle* é uma espécie predominantemente neotropical, ocupando um gradiente de baixa maré com alta insolação, até margens de alta maré sombreadas. E ainda, que o sistema radicular é

formado por rizóforos que partem do tronco e dos ramos, formando arcos com aspecto muito característico que, ao atingirem o solo, ramificam-se profusamente, permitindo melhor sustentação da planta num sedimento pouco consolidado.

Segundo Lamparelli *et al.* (2001), devido à elevada densidade populacional no litoral brasileiro e ao alto grau de urbanização e industrialização, principalmente a partir da década de 1950, os impactos antrópicos sobre os manguezais tornaram-se intensos e diversificados. O desenvolvimento voltado para a exportação resultou no estabelecimento de complexos industrial-portuários ao longo de todo o litoral, em particular nas baías protegidas das regiões Nordeste e Sudeste (Lamparelli *et al.* 2001).

O estuário do município de Peruíbe, situado na porção sul do litoral do Estado de São Paulo, apresenta um excelente estado de conservação de suas áreas naturais. Isto porque a cidade está incluída na Área de Proteção Ambiental Cananéia, Iguape, Peruíbe (IBAMA/APA/CIP), que segundo a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (lei de número 9.985, de 18/07/2000), tem por objetivo principal promover o desenvolvimento sustentável através da ocupação e exploração dos recursos naturais, conforme normas específicas que assegurem a proteção da unidade.

Por outro lado, o estuário de Santos, localizado na porção central do litoral do Estado de São Paulo, é conhecido por abrigar o maior porto da América Latina, e serve também, como acesso navegável ao maior pólo industrial do país, no município de Cubatão. Em relatório divulgado pela CETESB (Lamparelli *et al.* 2001), os aterros sanitários e principalmente os lixões foram considerados fontes de alto risco, que contribuem para a contaminação deste sistema estuarino. Além disso, existe a precipitação de poluentes atmosféricos, gerados nas indústrias da Baixada Santista, e os passivos ambientais, representados pelos aterros irregulares, pelas antigas áreas de disposição de sedimentos dragados do porto e pelos contaminantes presentes nos sedimentos, originados do bombeamento de água para a usina de Henry Borden, em Cubatão (Perina 2006).

Apesar do grande esforço para o controle da poluição e melhoria da qualidade ambiental, um levantamento da contaminação nos rios Cubatão, Perequê, Piaçaguera e Casqueiro, realizado em 1988, após a implantação de um programa de controle da poluição, concluiu que a região permanecia impactada por concentrações elevadas de metais pesados e compostos organoclorados na água, nos sedimentos e nos organismos aquáticos (CETESB 1990; Vargas-Boldrini *et al.* 1991). Levantamentos realizados em meados de 1997 e 1998 apontam a persistência de problemas de acumulação de poluentes nos sedimentos dragados dos canais portuários e, portanto, potencialmente disponíveis à biota aquática, colocando em risco a saúde pública e o equilíbrio ecológico da região (Pròsperi *et al.* 1999). Abessa (2002) demonstrou que os níveis de alguns contaminantes em sedimentos da área interna do estuário continuam aumentando, a despeito da diminuição oficial da carga poluidora que chega ao local, o que aponta para emissão clandestina de poluentes.

Diversos estudos tratam sobre o desenvolvimento de estruturas vegetais sob altas concentrações de elementos químicos no ar e no solo. Kurczyn'ska *et al.* (1997), detectaram diminuição no número de células do câmbio vascular, bem como o surgimento de falsos anéis nos traqueídeos de espécimes de *Pinnus sylvestres* L., situadas em áreas com altas taxas de metais pesados na atmosfera. Fortes (2003) avaliou teores de flúor em folhas de milho (*Zea mays* L.) e observou sintomas que evoluíam de descoloração do limbo foliar até dessecamento marginal foliar. Ortega - Vilasante *et al.* (2005) descobriram danos celulares e de crescimento induzidos por cádmio e mercúrio, em plantas de alfafa (*Medicago sativa* L.).

Defew *et al.* (2005) encontraram altos níveis de elementos metálicos (manganês, cobre, zinco, níquel, chumbo, ferro, cromo e cádmio) no manguezal da baía de Punta Mala, Panamá, e observaram que o acúmulo de metais pesados nos tecidos foliares não causou impacto aparente em indivíduos de *L. racemosa*. Silva *et al.* (2005) quantificaram oito elementos metálicos (ferro, zinco, cromo, cobre, cádmio, chumbo, níquel e alumínio) em árvores *R. mangle*, do manguezal do estuário do rio Potengi, Natal, Brasil, tendo encontrado as menores concentrações nos tecidos foliares. Considerando que a abscisão foliar exerce o principal controle da ciclagem de metais nos manguezais, estes autores consideram as árvores como barreiras naturais para metais pesados.

MacFarlane & Burchett (2002) avaliaram os efeitos de altas quantidades de cobre, chumbo e zinco na germinação, crescimento e bioacumulação em árvores de *Avicennia marina* Forssk., e observaram diminuições da taxa de germinação, do número de folhas, da área foliar, da biomassa e inibição de crescimento. Porém, concluíram que a espécie é altamente tolerante a estes metais, já que os resultados só surgiram com aplicação superior a 100 µg/g.

A poluição constitui uma fonte de estresse abiótico capaz de provocar aumento na produção de metabólitos secundários vegetais (Mithöfer *et al.* 2004) e, sendo as folhas o principal produto primário dos manguezais (Twilley *et al.* 1986; Clough *et al.* 2000), o uso de ferramentas das áreas de anatomia vegetal e química analítica pode revelar a qualidade deste material.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. COLETAS E ÁREAS DE AMOSTRAGEM

Foram coletadas dez folhas para a análise das espessuras dos tecidos e vinte folhas para a contagem de estruturas. Cada folha correspondeu a um indivíduo de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke e de *Rhizophora mangle* L. As folhas foram coletadas à altura do peito (por volta de 1,50 m), no mesmo trecho de bosque, de cada ambiente, no mês de Maio de 2007. A amostragem da área impactada se deu em trecho de manguezal da Ilha Diana (município de Santos), nas coordenadas 22°55'4.03''S e 46°18'36.82''W (Fig. 1). Já a área não impactada, foi amostrada em trecho de margem do rio Una (município de Peruíbe), nas seguintes coordenadas: 24°25'56.14"S e 47° 4'26.98"W (Fig. 2).

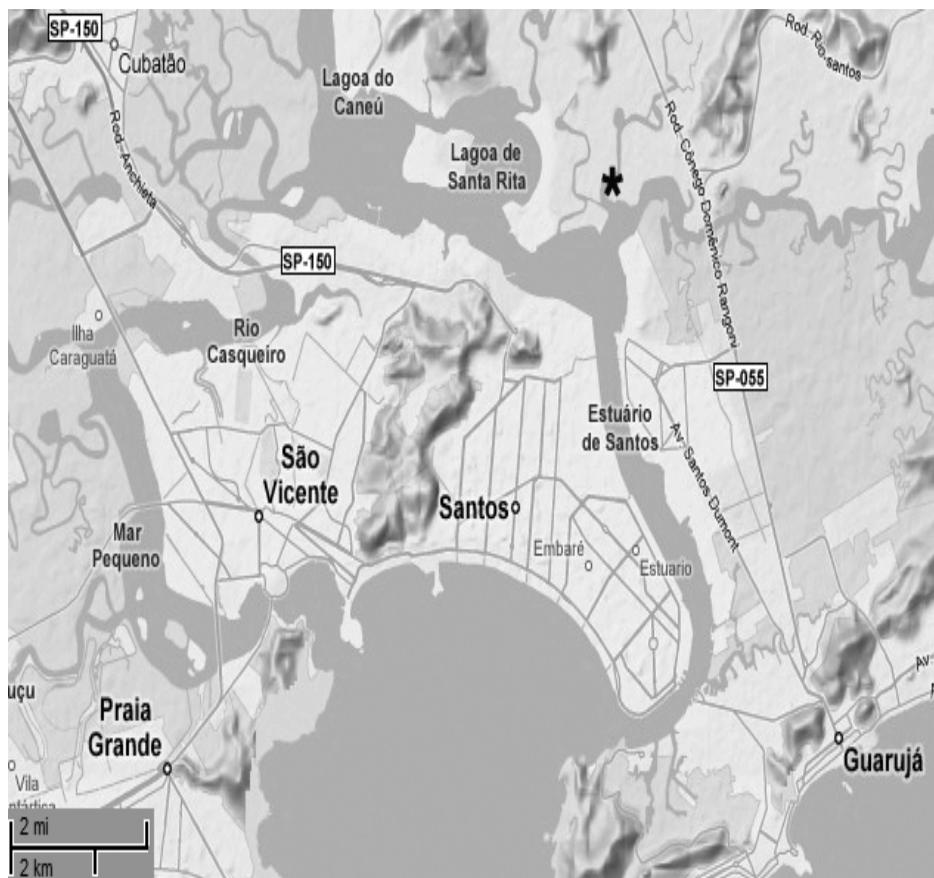


Figura 1. Estuário município de Santos. * Ponto de coleta em manguezal impactado.

2. MICROSCOPIA ÓPTICA

Foram realizadas seções transversais e paradérmicas, de folhas adultas, mais especificamente nas porções mediana e na região da nervura central da folha. As seções paradérmicas foram clarificadas em solução de hipoclorito de sódio 5%, e montadas em lâminas semi-permanentes, com glicerina (Kaiser, 1880). Já as seções transversais, destinados à montagem de lâminas permanentes, passaram por processos usuais de microtomia, que incluem: fixação em FAA 70% (a vácuo) por 24 horas, desidratação em série etílica, infiltração em resina sintética hidróxi-etil-metacrilato



Figura 2. Estuário do município de Peruibe. * Ponto de coleta em manguezal não-impactado.

(Leica Historesin), emblocamento, seccionamento da lâmina foliar nas regiões mediana e da nervura principal, em micrótomo rotativo ajustado para cortes de 5 μ m de espessura, coloração com azul de toluidina 1% com borato de sódio 1% em 100 ml de água destilada (Gerritts 1964), e montagem em resina “Entellan”.

3. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Seguindo a metodologia de Danilatos (1998), as folhas foram fixadas em solução de Karnovsky modificada, composta por paraformaldeído 4%, glutaraldeído 0,5%, em tampão cacodilato de sódio 0,1 M (pH 7,2) e água destilada, por uma noite no vácuo. No dia seguinte, foram realizadas três lavagens com cacodilato 0,05 M, com duração de 10 minutos cada uma e pós-fixação com tetróxido de ósmio (OsO_4), por uma hora. O material foi desidratado com acetona seguindo a série de concentrações 30%, 50%, 70%, 90% e 100%, seco até o ponto crítico e então, metalizado e submetido à observações em microscópio eletrônico de varredura.

4. CAPTURA DE IMAGENS, BIOMETRIA TECIDUAL, CONTAGEM DE ESTRUTURAS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS:

Após a confecção das lâminas para microscopia óptica, obtiveram-se imagens por meio de captador acoplado a microscópio de luz. Posteriormente, estas imagens foram digitalizadas através do programa IMS 50 (LEICA) e utilizadas para a confecção das

pranchas ilustrativas. Para a biometria tecidual e a contagem de estruturas foliares, foi utilizado o programa KS 100, versão 3.0 (ZEISS). Nas secções transversais, observaram-se valores da espessura da epiderme (nas faces adaxiais e abaxiais), da espessura do parênquima paliçádico e do parênquima esponjoso, da espessura da região do feixe vascular central e da espessura total da lâmina foliar. Nas secções paradérmicas, registrou-se o número/mm² de estômatos em folhas de *R. mangle* e de glândulas de sal na face adaxial de *A. schaueriana*. A contagem de estômatos e de glândulas de sal na face foliar abaxial de *A. schaueriana* é virtualmente impossível devido à densa cobertura de glândulas observada na maioria das folhas. Após a verificação de normalidade pelo teste “W” de Shapiro-Wilkes (5%), as médias obtidas foram submetidas ao teste T de Student, com o uso do pacote estatístico STATISTICA 7.0 (STATSOFT).

5. MÉTODO PARA ANÁLISE QUÍMICA DOS COMPOSTOS

Seguiram-se protocolos usuais do Laboratório de Fitoquímica – Instituto de Química, UNESP/Campus de Araraquara, que podem estar sujeitos à variações de acordo com a natureza do material. Cerca de 100 mg de folhas secas e moídas foram adicionados de 2 mL de metanol. A extração foi realizada por sonicação, por cerca de 20 minutos, em banho de ultra-som da Elma Transsonic 700. Em seguida a amostra submetida à centrifuga de bancada Celm Combatea, a 500 g por 10 minutos para sedimentação do resíduo sólido. Uma alíquota de 1 mL do sobrenadante foi filtrada em membrana 0,22 µm, sendo o filtrado acondicionado em frascos de vidro, próprios para amostrador automático.

As amostras foram analisadas em CLAE-DAD (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência, Varian ProStar, configurado com sistema de bombeamento mod. 230, amostrador automático mod. 410 e detetor UV/VIS com arranjo de diodos mod 330), utilizando-se coluna Phenomenex Luna C18 250 x 4,6 mm, 5 µm, volume de injeção de 20 µL, com acetonitrila como fase móvel (fase ACN) e água com 0,1% de ácido acético (fase Água). As condições de eluição estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Condições de eluição utilizadas no CLAE-DAD.

Tempo (min)	Água (%)	ACN (%)	Fluxo (mL/min)
0	5	95	1,0
40	0	100	1,0
40	0	100	2,0
60	0	100	2,0

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 *Avicennia schaueriana*

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA

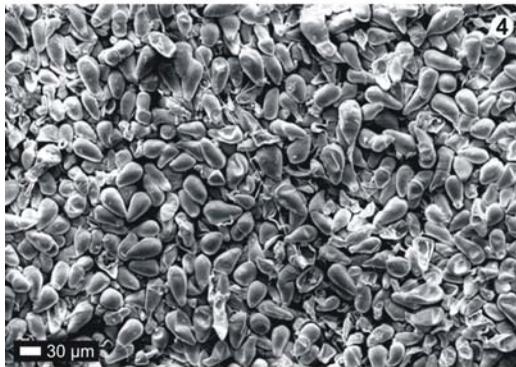
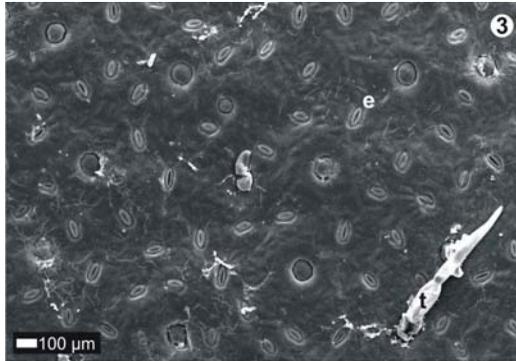
As folhas são hipostomáticas, com cutícula espessa ornamentada em camadas lisas, segundo Barthlott *et al* (1998), sem a deposição de cera epicuticular. A epiderme é unisseriada, com glândulas de sal e tricomas (Fig. 3 e 5), que na maioria das vezes encobrem totalmente a face foliar abaxial (Fig. 4). Observa-se em secção transversal, abaixo da epiderme da face adaxial, a hipoderme, constituída por quatro ou cinco camadas de células, seguida pelo parênquima paliçádico, com duas ou três camadas.

Na seqüência, observa-se o parênquima esponjoso, constituído por seis a sete fileiras de células, com poucos espaços intercelulares (Fig. 6). A região vascular central é constituída por um agrupamento de feixes colaterais (Fig. 7). O padrão descrito assemelha-se ao encontrado na literatura para *A. schaueriana* (Martins & Moreira, 2007). Não foram encontradas diferenças significativas nos aspectos analisados em folhas de *A. schaueriana*, dos dois ambientes estudados (Fig. 8), o que é corroborado por Garcia *et al.* (2004). Araújo (2001) avaliou a concentração de metais pesados em folhas de *A. schaueriana* e, mesmo tendo observado altos índices de chumbo, não encontrou alterações anatômicas ou modificações estruturais dos tecidos foliares.

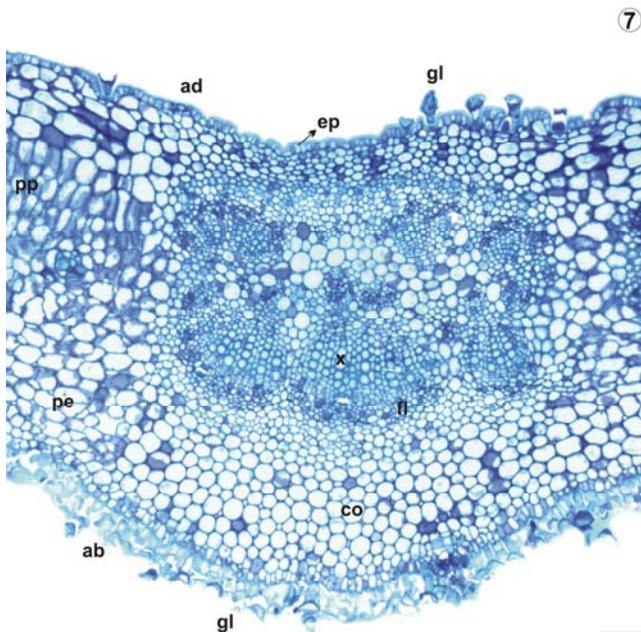
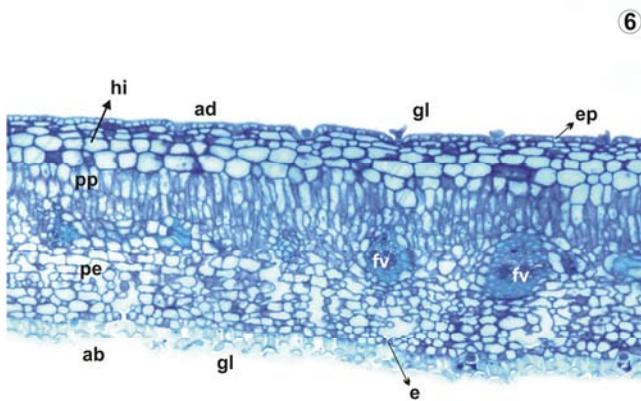
Freitas *et al.* (1998) também não encontraram modificações estruturais na anatomia foliar de *A. schaueriana* do manguezal do município de Alcobaça - BA (área sob forte influência antrópica). Quanto às densidades de glândulas de sal, também não foram detectadas diferenças significativas (Fig. 9). Rodrigues *et al.* (2002) avaliaram a situação em folhas do manguezal submetido às atividades petrolíferas e encontraram quantidades glandulares maiores e menores, com relação à área não impactada.

Thompson (1975) atribui às glândulas de sal de plantas do gênero *Avicennia* (Avicenniaceae) a função de manutenção do equilíbrio osmótico, estando as quantidades sujeitas à alterações de acordo com o teor salino do ambiente. Drennan & Berjak (1982) acompanharam o desenvolvimento foliar de plantas de *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh e concluíram que as folhas apresentaram perdas em quantidades de glândulas de sal de acordo com o envelhecimento. Não se verificou o teor de salinidade nos ambientes do presente estudo, porém, grande atenção foi dispensada ao estágio de maturação das folhas coletadas. Desta maneira, acredita-se que as folhas estavam em condições osmóticas semelhantes nos dois ambientes e que o número de glândulas de sal pode não ser um bom indicador foliar para poluição ambiental.

MacFarlane & Burchett (2002) observaram que em *A. marina* (Forssk.) Vierh, a translocação de metais pesados em plantas submetidas às altas concentrações foi pequena e classificaram a espécie como altamente tolerante à aplicação desse tipo de poluente. Acreditamos que o mesmo possa ser atribuído a *A. schaueriana*, pois embora esta espécie tenha sido considerada a mais sensível dos manguezais (Lamberti 1969; Macêdo 1983), tal afirmação não pôde ser confirmada no presente estudo.



Figuras 3 a 5. Fotomicrografia eletrônica de varredura da superfície foliar de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke, de manguezal não impactado. 3 – face foliar adaxial. 4 e 5 – face foliar abaxial. gl = glândula de sal. t = tricoma. e = estômato.



Figuras 6 e 7. Cortes transversais de folhas adultas de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke, de manguezal impactado. 6 – Mesofilo; 7 – Nervura central. Escala: 100 μ m. ad = face foliar adaxial. ab = face foliar abaxial. gl = glândula de sal. hi = hipoderme. pp = parênquima paliçádico. pe = parênquima esponjoso. co = colênquima. e = estômato. fv = feixe vascular. fl = floema. x = xilema.

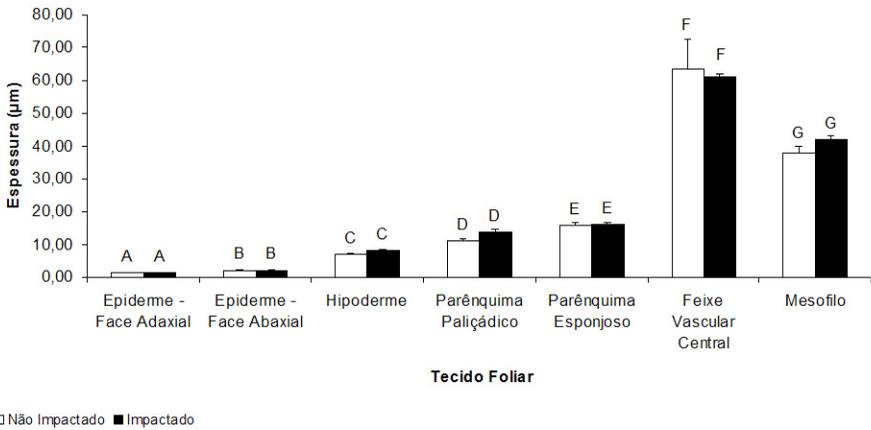


Figura 8. Comparação entre médias e desvio padrão das espessuras teciduais de folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke, provenientes de ambiente impactado e não impactado. Diferenças significativas (5%) estão representadas por letras iguais diferenciadas entre maiúsculas e minúsculas.

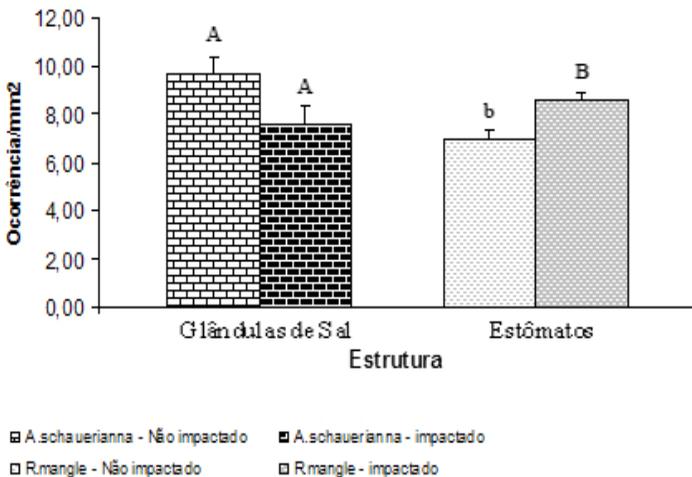


Figura 9. Comparação entre médias e desvio padrão das quantidades de glândulas de sal (em *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke) e dos estômatos (*Rhizophora mangle* L.), por milímetro quadrado. Diferenças significativas (5%) estão representadas por letras iguais diferenciadas entre maiúsculas e minúsculas.

PERFIS CROMATOGRÁFICOS

As folhas do ambiente não impactado apresentaram volumes maiores de metabólitos secundários (Fig. 10). Este resultado provavelmente reflete a pequena taxa de translocação de metais pesados encontrada por MacFarlane & Burchett (2002), evidenciando pouca perturbação no metabolismo das plantas do local impactado. Ferreira & Aquila (2000) afirmam que as quantidades de metabólitos secundários podem variar em plantas de uma mesma espécie, de acordo com o local de ocorrência. O processo de herbivoria também é capaz de provocar aumento na produção de metabólitos secundários (Mithöfer *et al.* 2004), e é de se esperar que ele ocorra com maior intensidade no manguezal de Peruíbe, que apresenta melhor estado de conservação. Isto explicaria o maior volume dessas substâncias, encontrado nas folhas deste ambiente.

6.2 *Rhizophora mangle*

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA

As folhas são hipoestomáticas (Figs. 12 e 14). A epiderme é composta uma única camada de células recobertas por cutícula espessa, ornamentada em camadas fissuradas e com deposição de cera epicuticular do tipo “fibras” (em ambiente não impactado) e “crostas” (em ambiente impactado), seguindo a classificação de Barthlott *et al* (1998) (Figs. 11 e 13). Estes autores afirmam que o padrão de deposição de cera epicuticular varia de acordo com a composição química e as condições ambientais, o que torna possível que estes fatores sejam os responsáveis pela diferença nos padrões encontrados. A hipoderme é constituída de três a quatro camadas de células e não apresentou diferenças em espessura, com relação aos ambientes estudados (Fig. 15 e 17; Fig. 19). O parênquima paliçádico é composto por uma ou duas camadas de células e sua espessura foi maior em folhas do ambiente impactado (Fig. 19). Em revisão de estudos realizada por Seth *et al* (1999), registrou-se tanto aumento como diminuição na espessura deste tecido em folhas de plantas expostas a poluentes atmosféricos. O parênquima esponjoso é constituído por nove ou dez camadas de pequenas células com muitos espaços intercelulares e sua espessura foi menor em folhas do ambiente impactado, provavelmente como consequência do aumento da espessura do parênquima paliçádico, já que a espessura total do mesofilo não alterou. (Fig. 19). A nervura central apresenta um agrupamento de feixes colaterais (Figs. 16 e 18). A espessura deste agrupamento foi maior em folhas do ambiente impactado, fato comumente relacionado à capacidade fotossintética e de transporte de assimilados, que podem ser alteradas em situações de níveis elevados de CO₂ (Seth *et al.* 1999).

A densidade estomática foi maior nas folhas do ambiente impactado (Fig. 9). Seth *et al.* (1999), revendo pesquisas anteriores, afirmam que os estômatos podem aumentar, diminuir, ou conservar a densidade, quando as plantas são expostas a altas taxas de poluentes atmosféricos. Pedroso & Alves (2008) observaram aumento da densidade

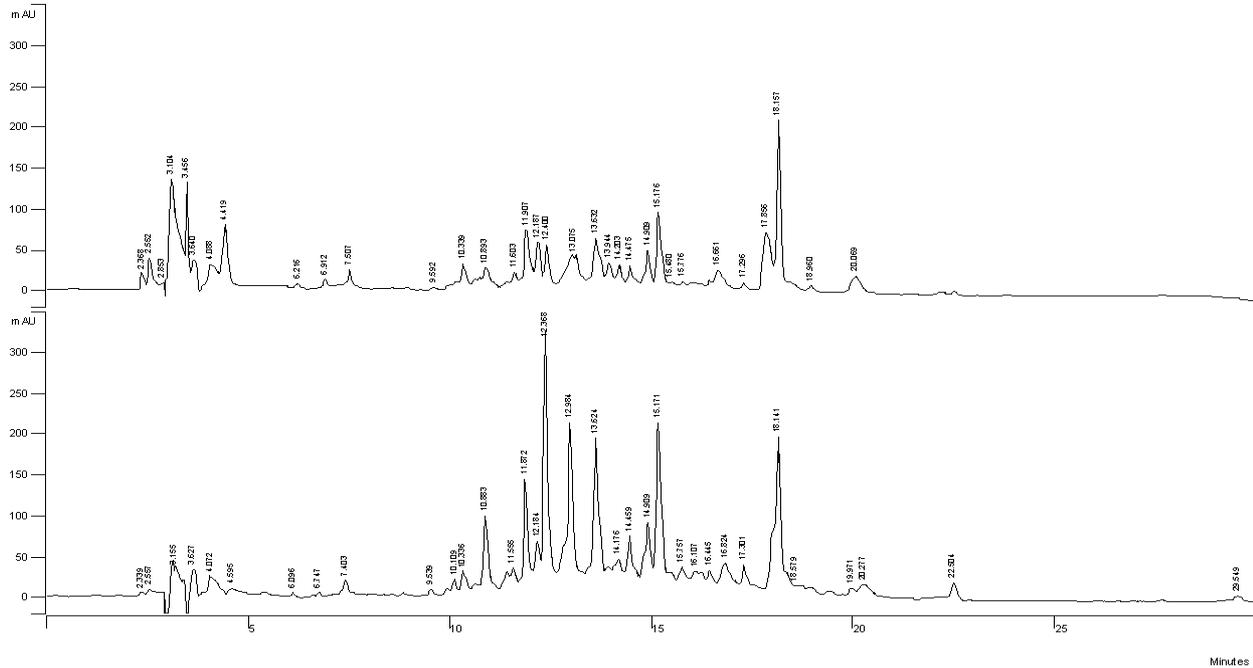
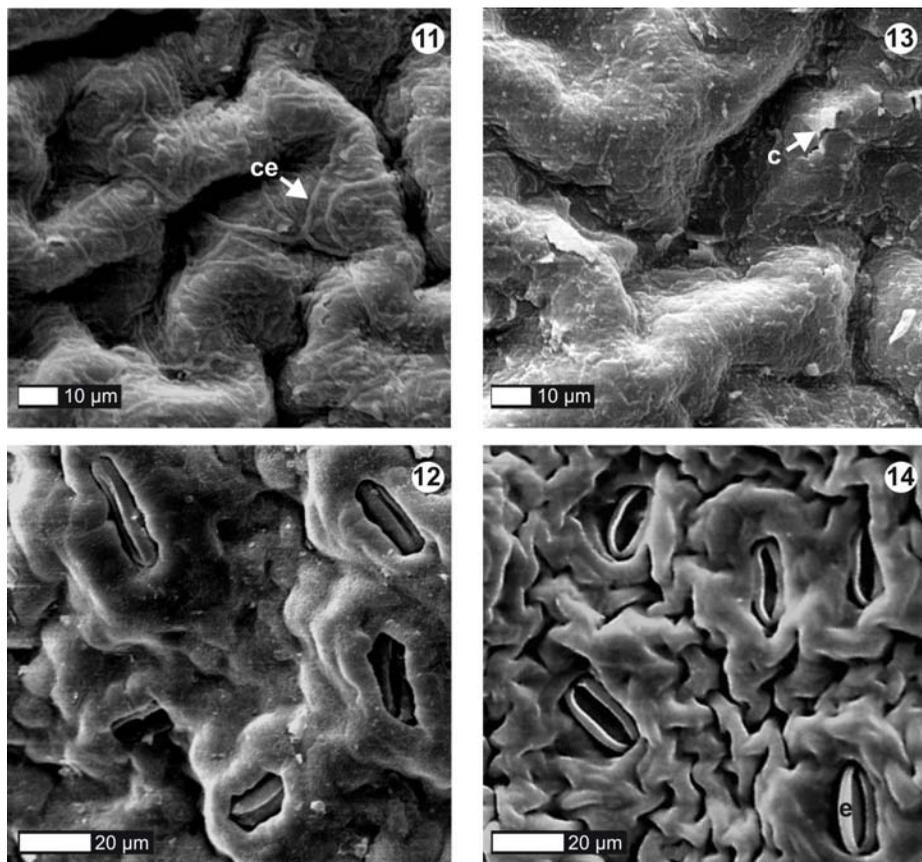


Figura 10. Cromatogramas de *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech. ex Moldenke, de área impactada (acima) e não impactada (abaixo), registrados em 254 nm. Cada pico corresponde a um grupo de metabólito secundário.

estomática em folhas de café (*Nicotiana tabacum* L.), expostas a altas concentrações de ozônio. Resultados semelhantes foram encontrados em outros estudos com plantas submetidas a elevados níveis deste mesmo poluente (Vanhatalo *et al.* 2001; Alves *et al.*, 2008). Dados divulgados no relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, pela CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental) em 2006, confirmaram altos índices de ozônio - aproximadamente $100 \mu\text{g m}^{-3}$, visto que o padrão estabelecido é de $50 \mu\text{g m}^{-3}$ - nas proximidades da área amostrada, o que torna possível afirmar que os efeitos observados são provocados pela poluição.



Figuras 11 a 14. Fotomicrografias eletrônicas de varredura da superfície foliar de *Rhizophora mangle* L. 11 e 13 – Face foliar adaxial de folhas de ambiente não impactado e impactado, respectivamente. 12 e 14 – Face foliar abaxial de folhas de ambiente não impactado e impactado, respectivamente. ce = cera epicuticular. e = estômato.

15

17

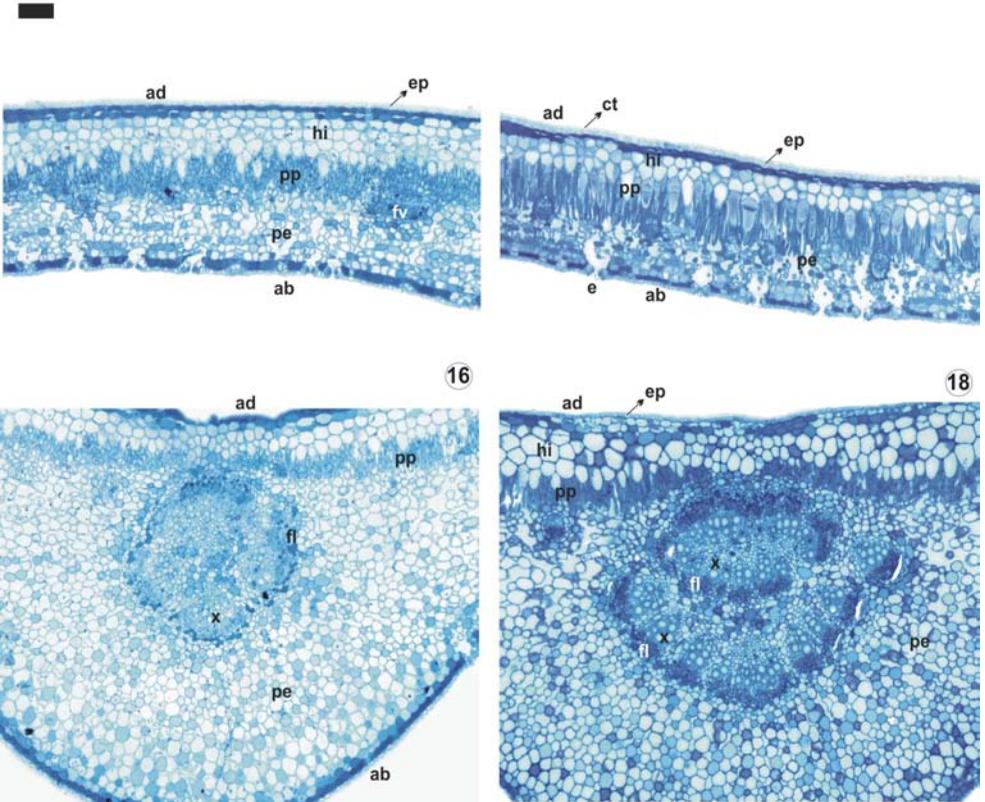


Figura 15 a 18. Secções transversais de folhas adultas de *Rhizophora mangle* L. 15 e 16 – ambiente não impactado; 17 e 18 – ambiente impactado. Escala: 100 µm. ad = face foliar adaxial. ab = face foliar abaxial. ep = epiderme. hi = hipoderme. pp = parênquima paliçádico. pe = parênquima esponjoso. e = estômato. x = xilema. fl = floema.

A despeito das alterações morfo-anatômicas observadas, é possível afirmar que esta espécie sobrevive sem o comprometimento considerável de sua estrutura foliar, em áreas submetidas a impactos ambientais.

PERFIS CROMATOGRÁFICOS.

Folhas do ambiente impactado produziram maior quantidade e volume de metabólitos secundário (Fig. 20). Embora Silva *et al.* (2005) tenham detectado baixas concentrações de metais pesados nos tecidos foliares desta planta, pode-se inferir que as

alterações metabólicas estão indiretamente relacionadas às altas concentrações destes poluentes em outros órgãos (ramos, caules e raízes).

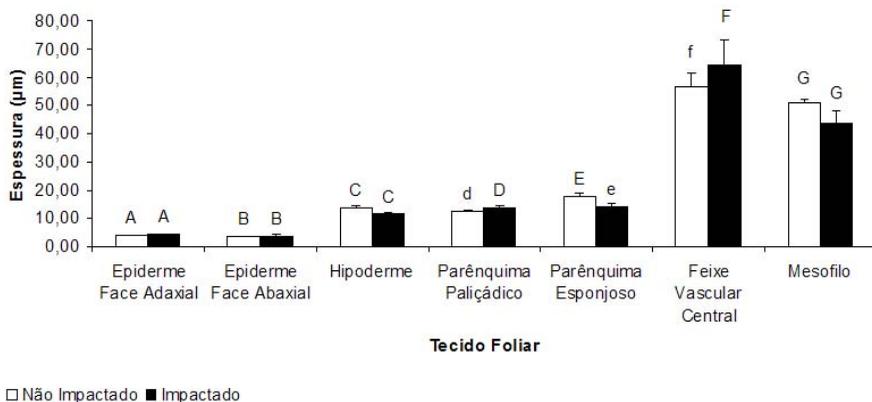


Figura 19. Comparação entre médias e desvio padrão das espessuras teciduais de folhas de *Rhizophora mangle* L., provenientes de ambiente não impactado e impactado. Diferenças significativas (5%) estão representadas por letras iguais diferenciadas entre maiúsculas e minúsculas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro concedido através do processo n° 2007/00721-9.

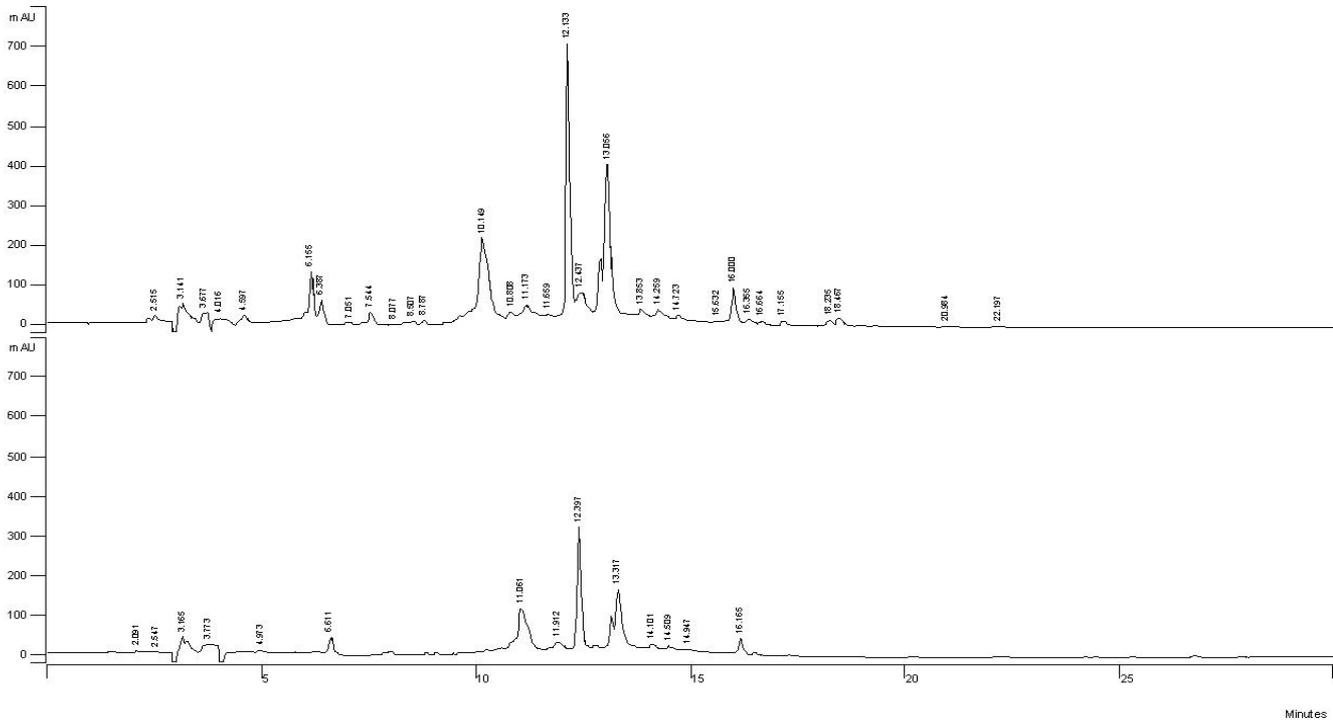


Figura 20. Comparação entre os cromatogramas de *Rhizophora mangle* L, de área impactada (acima) e não impactada (abaixo), registrados em 254 nm. Cada pico corresponde a um grupo de metabólito secundário.

REFERÊNCIAS

- Abessa, D.M.S. 2002. **Avaliação da qualidade de sedimentos do Sistema Estuarino de Santos**. 290f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Alves, E.S.; Tresmondi, F. & Longui, E.L. 2008. Análise estrutural de folhas de *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae) coletadas em ambientes rural e urbano, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** **22(1)**: 241-248.
- Araújo, B.R.N. 2001. Diagnóstico geoambiental de zonas de manguezal do estuário do rio Itanhém, município de Alcobaca Região extremo sul do Estado da Bahia. **Acta Botanica Brasilica** **15(2)**: 281-282.
- Barthlott, W.; Neinhuis, C.; Cutler, D.; Ditch, F.; Meusel, I.; Theisen, I. & Wilhelmi, H. 1998. Classification and terminology of plant epicuticular waxes. **Botanical Journal of the Linnean Society** **126**: 237-260.
- CETESB. 1990. **Relatório de qualidade das águas litorâneas do Estado de São Paulo 1989**. Série Relatórios.
- CETESB. 2006. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2005**. Série Relatórios.
- Clough, B.F.; Tan, D.T. & Phuong, D.X. 2000. Canopy leaf area index and litter fall in stands of the mangrove *Rhizophora apiculata* of different age in the Mekong Delta, Vietnam. **Aquatic Botany** **66**: 311-320.
- Danilatos, G.D. 1998. Foundations of environmental scanning electron microscopy. **Advances in Electronics and Electron Physics** **71**: 109-250.
- Defew, L.H.; Mair, J.M. & Guzman, H.M. 2005. An Assessment of Metal Contamination in Mangrove Sediments and Leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. **Marine Pollution Bulletin** **50**: 547-552.
- Drennan, P.M. & Berjak, P. 1982. Degeneration of the salt glands accompanying foliar maturation in *Avicennia marina* (Forsskal) Vierh. **New phytologist** **90(1)**: 165-176.
- Ferreira, A.Q. & Aquila, M.E.A. 2000. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal (edição especial)**: 175-204.
- Fortes, C.; Duarte, A.P.; Matsuoka, S.; Hoffmann, F.P. & Lavorenti, N.A. 2003. Toxicidade de Flúor em Cultivares de Milho em Área Próxima a uma Indústria Cerâmica, Araras (Sp). **Bragantia** **62**: 275-281.
- Freitas, U.R.; Argôlo, J.L.; Queiroz, A.F.S.; Araújo, B.R.N.; Santos, J.J. & Oliveira, S. S. 1998. Estudo anatômico da folha de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman e *Avicennia germinans* Steart do manguezal do estuário do rio Itanhém, Alcobaca-BA sob influência antropogênica. **Anais do XVII Seminário Estudantil de Pesquisa da UFBA**, Salvador. Universidade Federal da Bahia, p. 476-477.
- Garcia, K.S.; Garcia, R.J.L.; Araújo, B.R.N.; Oliveira, O.M.C.; Queiroz, A.F.S & Nano, R.M.W. 2004. Morphologic evaluation and chemistry-nutritional in leaves

- of *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman in areas of the growth of amgroves of the area of São Francisco of the count - Bahia/Brazil. **International Symposium Environmental Geochemistry In Tropical Countries**, Buzios - RJ. Book of Abstracts.
- Gerrits, P.O. 1991. **The application of glycol methacrylate in histotechnology**: some fundamental principles. Groningen: University of Groningen (Netherlands).
- Kaiser, E. 1880. Verfahren zur Herstellung einer tadellosen Glycerin-Gelatine. **Botanisch Zentralb** 180: 25-26.
- Kurczyn'ska, E.U.; Dmuchowski, W.; Włoch, W. & Bytnerowicz, A. 1997. The Influence of Air Pollutants on Needles and Stems of Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) Trees. **Environmental Pollution** 98: 325-334.
- Lamberti, A. 1969. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas do manguezal de Itanhaém. **Boletim de Botânica** 317: 1-127.
- Lamparelli, M.L.; Costa, M.P.; Prósperi, V.A.; Beviláqua, J.E.; Araújo, R.P.A. & Eysink, G.G.; Pompeia, S. 2001. Sistema estuarino de Santos e São Vicente. **Relatório Técnico CETESB**.
- Macfarlane, G.R. & Burchett, M.D. 2002. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. **Marine Environmental Research** 54: 65-84.
- Macêdo, N.A. 1983. Estudo anatômico de plantas arbóreas de mangue. **Natura** 05: 114-135.
- Martins, M.B.G. & Moreira, V.L. 2007. Caracterização Histológica das folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman (Avicenniaceae). **Revista Hispici & Lema** 01: 1-8.
- Mithöfer, A.; Schulze, B. & Wilhelm, B. 2004. Biotic and heavy metal stress response in plants: evidence for common signal. **FEBS Letters** 566(1-3): 1-5.
- Ortega - Villasante, C.; Rellán - Alvarez, R.; Del Campo, F.F., Carpena - Ruiz, R.O. & Hernandez, L.E. 2005. Cellular damage induced by cadmium and mercury in *Medicago sativa*. **Journal of Experimental Botany** 56: 2239-2251.
- Pedroso, A.N.V. & Alves, E.S. 2008. Anatomia foliar comparativa das cultivares de *Nicotiniana tabacum* L. (Solanaceae) sensível e tolerante ao ozônio. **Acta Botanica Brasilica** 22(1): 21-28.
- Perina, F.C. 2006. **Comparação entre os efeitos da toxicidade de sedimentos sobre invertebrados bentônicos e vegetação das áreas internas do Sistema Estuarino de Santos e São Vicente**. Trabalho de Conclusão de Curso. Unesp - Universidade Estadual Paulista "Julho de Mesquita Filho", São Vicente, São Paulo.
- Prósperi, V.; Eysink, G.G.J. & Saito, L.M. 1999. Avaliação do grau de contaminação do sedimento ao longo do canal de navegação do porto de Santos. **Relatório Técnico CETESB**. São Paulo.
- Rezende, M.O.O. & Cliquet, E. 2004. **Diagnóstico ambiental em manguezais da Baixada Santista e complexo estuarino de Cananéia-Iguape no tocante a**

- metais, hexaclorociclohexano e íons amônio.** Instituto de Química de São Carlos.
- Rodrigues, K.M.R.; Araújo, B.R.N.; Queiroz, A. F. S.; Chagas, J.L.C. & Viana, J.C.C. 2002. Análise comparativa do índice de estômatos e glândulas de sal da epiderme das folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman, submetidos a impactos oriundos de atividades petrolíferas. **Caderno de Resumos do 26º Encontro Regional de Botânicos MG/BA/ES.** 147p.
- Seth, G.; Pritchard, H.H.R.; Stephen, P. & Curt, M.P. 1999. Elevated CO₂ and plant structure: a review. **Global Change Biology** 5: 807-837.
- Silva, C.A.R.; Silva, A.P. & Oliveira, S.R. 2006. Concentration, Stock and Transport Rate of Heavy Metals in a Tropical Red Mangrove, Natal, Brazil. **Marine Chemistry** 99(1-4): 2-11.
- Sugiyama, M. 1995. A flora do manguezal. *In*: Schaeffer-Novelli, Y. (Ed). Manguezal: Ecossistema entre a Terra e o Mar. **Caribbean Ecological Research.** São Paulo, p. 19.
- Tomlinson, P.B. 1986. **The Botany of Mangroves.** Cambridge Tropical Biology Series. New York: Cambridge University Press.
- Thompson, W.W. 1975. The structure and function of salt glands. *In*: **Poljakoff-Mayber.** A. and Gale, J. (Ed). Plants in Saline Environments. New York: Springer, p. 118-146.
- Twilley, R.R.; Lugo, A.E. & Patterson-Zucca, C. 1986. Litter production and turnover in basin mangrove forests in southwest Florida. **Ecology** 67(3): 670-683.
- Vanhatalo, M.; Huttunen, S. & Bäck, J. 2001. Effects of elevated CO₂ and O₃ on stomatal and surface wax characteristics in leaves of pubescent birch grown under field conditions. **Trees** 15: 304-313.
- Vargas-Boldrini, C.; Eysink, G.G.J.; Lamparelli, M.C. & Martins, M.C. 1991. Contaminants in the Cubatão River basin and its Estuary (SP, Brazil), relating to the Aquatic Biota. Part 2. Organic Compounds. **1th Biennial International Estuarine Research Conference,** San Francisco USA.