

SUELOS DE MANGLAR: CARACTERÍSTICAS GÉNESIS E IMPACTOS ANTRÓPICOS.

SOLOS DE MANGUE: CARACTERÍSTICAS, GÊNESE E IMPACTOS ANTRÓPICOS.

MANGROVE SOILS: PROPERTIES, PEDOGENESIS AND ANTHROPIC IMPACTS.

P. VIDAL-TORRADO¹, X. L. OTERO², T. FERREIRA³, V. SOUZA JR.⁴, M. BÍ-CEGO⁵ & M. T. GARCÍA-GONZÁLEZ⁶, F. MACÍAS².

- 1.- Dpt. de Ciência do Solo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Univ. Sao Paulo. 13.418-900 Piracicaba. Brazil.
- 2.- Dp. Edafología y Química Agrícola. Fac. Biología. Univ. Santiago. Campus Sur. Santiago de Compostela. España.
- 3.- Departamento de Ciências do Solo, Centro de Ciências Agrárias Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brazil.
- 4.- Departamento de Agronomia - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros. S/N. Dois Irmãos. Recife-PE-Brazil.
- 5.- Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 05508-900 São Paulo-SP, Brazil.
- 6.- Instituto de Ciencias Medioambientales. CSIC. Madrid. Serrano 115-dpdo. Madrid. España.

Abstract. The mangrove swamps are coastal ecosystems with a great environmental, economic and social importance. The grounds of these means little have been studied, not knowing many internal aspects of their components, properties, processes and their interaction with the polluting agents who arrive at them. Studies realised in mangrove swamps of the state of Sao Paulo (Brazil) have allowed to incorporate new data and to more suitably understand the difference between soils and the sediments of these environments. The observed pedogenetic processes in the mangrove swamps (additions, losses, transformations and translocaciones) strongly are influenced by the biogeochemical behavior of the Fe and the S and its relation with the microorganisms, plants and macrofauna of invertebrates, able to interfere strongly in the processes and to condition the properties physical chemistries of grounds (like pH and Eh) that, as well, they most of control the especiación and biogeochemical behavior of the present elements with high contents of organic matter soils there are inherited minerals, of marine or continental systems, and transformed and neofomed others. Finally, the anthropic impacts are discussed that they undergo these ecosystems by contamination with domestic residues, heavy metals, petroleum spills and the adverse effects of the carcinocultura.

Resumen. Los manglares son ecosistemas litorales con una gran importancia ambiental, económica y social. Los suelos de estos medios han sido poco estudiados, desconociéndose muchos aspectos de sus componentes, propiedades, procesos internos y su interacción con los agentes contaminantes que llegan a ellos. Estudios realizados en manglares del estado de Sao Paulo (Brasil) han permitido incorporar nuevos datos y comprender más adecuadamente la diferencia entre los suelos y los sedimentos de estos ambientes. Los procesos edafogénéticos observados en los manglares (adiciones, pérdidas, transformaciones y translocaciones) están fuertemente influenciados por el comportamiento biogeoquímico del Fe y del S y su relación con los

microorganismos, vegetales superiores y macrofauna de invertebrados, capaces de interferir fuertemente en los procesos y condicionar las propiedades físico-químicas de los suelos (como pH y Eh) que, a su vez, controlan la especiación y comportamiento biogeoquímico de la mayor parte de los elementos presentes. En los suelos se encuentran minerales heredados, de ambientes marinos o continentales, y otros transformados y neoformados, junto a concentraciones elevadas de materia orgánica. Finalmente, se discuten los impactos antrópicos que sufren estos ecosistemas por contaminación con residuos domésticos, metales pesados, derrames de petróleo y los efectos adversos de la carcinocultura.

Resumo. Manguezais são ecossistemas costeiros de transição entre ambientes marinhos e terrestres, cuja importância ambiental, econômica e social é reconhecida. Os solos de mangue ainda são pouco compreendidos e caracterizados, bem como sua interação com substâncias e elementos potencialmente poluentes. A partir dessa problemática, expõe-se resultados de pesquisas realizadas nos manguezais do Estado de São Paulo (Brasil) que põem em evidência os processos pedogenéticos que ocorrem no substrato dos manguezais e sua designação como solo e não como sedimento. Os processos pedogenéticos observados (adições, perdas, transformações e translocações) são fortemente influenciados pelo comportamento biogeoquímico do Fe e do S e sua relação com os microrganismos, com vegetais superiores e com a macrofauna de invertebrados, capazes de interferir fortemente em tais processos e condicionar a características físico-químicas do solo (como pH e Eh) que variam de acordo com a atuação específica dos mesmos. Verifica-se ainda, a presença de minerais herdados, de ambientes ora marinhos ora continentais, transformados e neoformados, precipitados como argilominerais 2:1, que evidenciam os limites entre pedogênese e diagênese atuando no material de origem. Por fim, são discutidos impactos antrópicos negativos, como a contaminação por esgotos domésticos, metais pesados, derrames de petróleo e os efeitos adversos da carcinocultura, e sua relação com as características gerais desses solos.

INTRODUÇÃO

Este texto contém, além de revisão de literatura, parte dos resultados de 5 anos de pesquisas nos manguezais do Estado de São Paulo, financiadas pela FAPESP, CNPq e CAPES. Estudantes de pós-graduação do curso de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ-USP, professores do Instituto Oceanográfico da USP, da Universidade de Santiago de Compostela e do CSIC (Espanha), do CENA-USP e do Departamento de Solos da ESALQ-USP, compõem a equipe que conta com o apoio especial do grupo de pesquisa sobre manguezais da Dra. Yara Schaeffer-Novelli do IO-USP e do Dr. José Clemente Coelho Jr., oriundo desse grupo e hoje coordenador do PROMANG – Pesquisa e ensino sobre manguezais em Recife (PE). Após estes 5 anos de trabalho, julgamos que ainda há muito que aprender sobre os manguezais para que os cientistas de solos, no Brasil situados principalmente em escolas de Agronomia e em instituições de pesquisa, possam dar uma con-

tribuição consistente ao entendimento do que até recentemente, denominávamos “solos indisciplinados de mangue”.

Conceitos

McNae (1968) e Sugiyama (1995) sugerem que o termo “manguezal” está relacionado à comunidade do ponto de vista ecológico-fisionômico, enquanto “mangue” refere-se apenas às espécies vegetais.

“Ambiente caracterizado pela associação de árvores e arbustos (*Rhizophora mangle*, *Avicennia* sp.), além de algumas gramíneas (*Spartina* sp.), todas as plantas halófitas, que se desenvolvem em planícies de marés protegidas margeando lagunas e estuários de regiões quentes úmidas. Os substratos desses ambientes são, em geral, lamosos e ricos em matéria orgânica” (Suguio, 1998, p.488).

Ecossistema costeiro, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés. Constituído de espécies vegetais lenhosas típicas (angiospermas) adapta

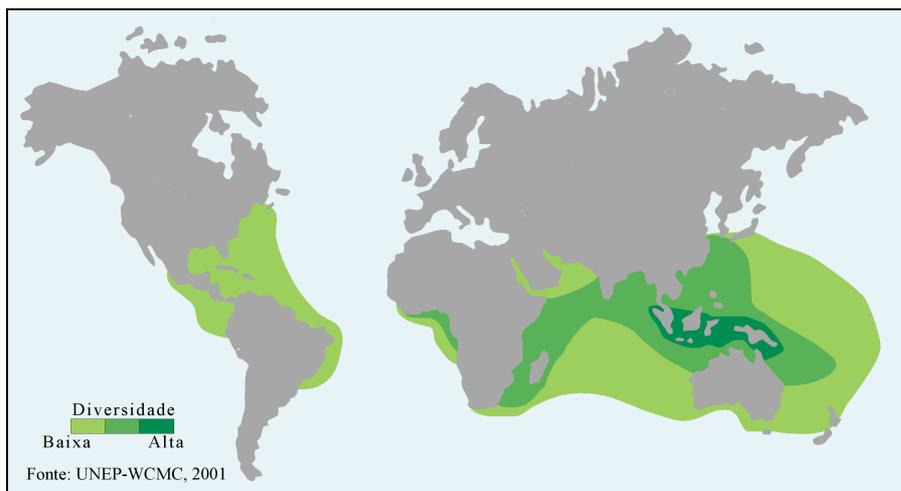


FIGURA 1. Distribuição das florestas de manguezal no globo e número aproximado de espécies vegetais nos hemisférios oriental e ocidental.

das à flutuação de salinidade e caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, com baixos teores de oxigênio. Ocorre em regiões costeiras abrigadas e apresenta condições propícias para alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies animais, sendo considerado importante transformador de nutrientes em matéria orgânica

Distribuição e origem

Os manguezais se encontram predominantemente, na região limitada pelos trópicos de Câncer e de Capricórnio tendo sua região de desenvolvimento preferencial nas imediações da linha do Equador (Figura 1). Em nosso país, este tipo de ecossistema é encontrado em quase toda a extensão do litoral, desde o Amapá até Santa Catarina (Yokoya, 1995).

Segundo Lacerda (1984), estima-se a existência de cerca de 20 milhões de hectares de manguezais em todo o mundo sendo que os países onde as maiores florestas encontram-se são: Malásia, Índia, Brasil, Venezuela, Nigéria e Senegal. No litoral brasileiro, do Cabo Orange (Amapá) até Araranguá (Santa Catarina), estas florestas ocupam uma área aproxi-

mada de 25.000 km². As planícies costeiras como as conhecemos hoje, são resultado de flutuações do nível do mar e alterações paleoclimáticas, assim como a origem e distribuição dos manguezais. Até cerca de 5.150 anos A.P., a maior parte da costa brasileira se encontrava submersa devido à Última Transgressão (Transgressão Santos) que foi seguida por uma regressão responsável pela formação de terraços marinhos e pela transformação de lagoas em lagoas e, posteriormente, as últimas em pântanos salobros (manguezais) (Suguio *et al.*, 1985) (Figura 2).

Principais espécies de mangue

A vegetação das áreas de manguezal é essencialmente homogênea caracterizada por plantas lenhosas, arbustivas e subarbustivas, a qual difere ecológica e floristicamente da vegetação de terra firme sendo composta, basicamente, pelas árvores dos gêneros *Rhizophora*, *Laguncularia* e *Avicennia*, além do arbusto *Hibiscus* e da erva terrestre *Acrostichum*, descritas a seguir (Lamberti, 1966):

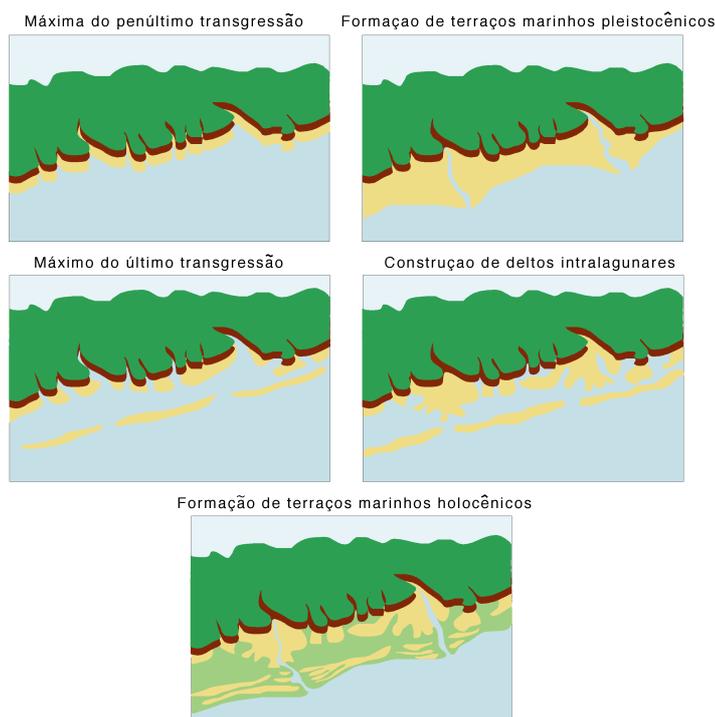


FIGURA 2. Estádios evolutivos de sedimentação costeira. Modificada de Suguio *et al.* (1985)

Rhizophora mangle

Espécie de hábito arbóreo de 6 m ou mais com inúmeras ramificações pertencente à Classe Dicotyledoneae, ordem Myrtiflorae e família Rhizophoraceae. As plântulas desta espécie se desprendem da planta mãe caindo no solo e enraízam-se ao encontrarem condições favoráveis. Um dos aspectos de maior destaque desta espécie está em seu sistema radicular em forma de arco. As chamadas raízes de escora apresentam características bastante peculiares como, por exemplo, interior esponjoso e presença de lenticelas³. Partindo diretamente do tronco e do caule da árvore estas raízes promovem a sustentação e a troca de oxigênio com a atmosfera.

Avicennia schaueriana

Esta árvore conhecida vulgarmente como mangue siriúba faz parte da Classe Dicotyledoneae, ordem Tubiflorae e da família Verbe-

naceae. Seus frutos em forma de cápsula oval achatada e a presença de um sistema radicular dotado de pneumatóforos garantem a propagação e a sobrevivência da espécie. Os pneumatóforos consistem em raízes aéreas que permitem, através da ação de lenticelas, o armazenamento de ar e a conseqüente aeração do sistema radicular.

Laguncularia racemosa

Também pertencente à classe Dicotyledoneae e à ordem Myrtiflorae, o mangue rasteiro ou canapomba, como é conhecido, está enquadrado na família Combretaceae. Esta espécie de árvore do manguezal difere das outras por apresentar um menor porte podendo, às vezes, aparentar um hábito arbustivo. Quanto ao sistema radicular, a *Laguncularia racemosa* também apresenta pneumatóforos, porém de formato menores e bifurcados ou trifurcados.

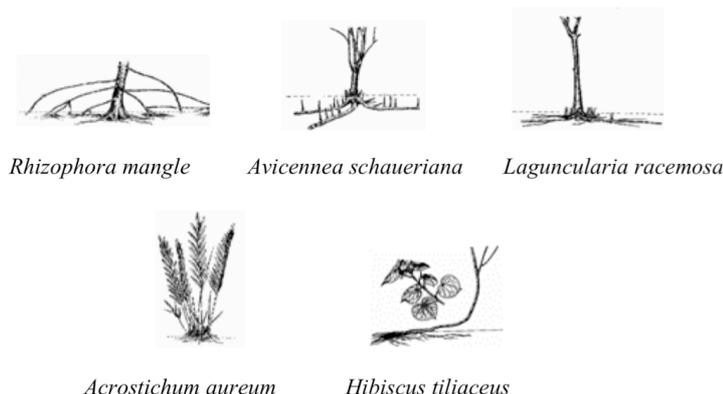


FIGURA 3. Ilustração das principais espécies de mangue (Modificada pelos autores de Lamberti, 1966).

Hibiscus tiliaceus

O algodoeiro da praia é um arbusto de inúmeras ramificações e bastante comum na arborização de cidades litorâneas. A taxonomia da espécie a classifica como uma integrante da classe Dicityledoneae, ordem Malvales e da família Mlyaceae. Suas folhas e flores são grandes, suas raízes apresentam caráter adventício bastante ramificado, fino e de pouca penetração no solo.

Acrostichum aureum

Pteridófito da ordem Filicales e da família Polypodiaceae, a samambaia do mangue consiste em uma erva terrestre com caule ramificado e folhas compostas penadas. O sistema radicular desta espécie é superficial e também constituído por raízes adventícias.

As espécies descritas anteriormente, assim como suas principais características, encontram-se ilustradas na figura 3.

Relações solo – vegetação

A seguir são apresentadas algumas relações, apontadas de forma generalizada na bibliografia, entre a ocorrência das principais espécies de mangue e as condições gerais dos solos.

Mangue Vermelho (Gênero Rhizophora)

Desenvolvem-se melhor em solos siltosos rasos, inundados por água salobra e protegidos da ação direta das ondas e do oceano, mas que estejam em locais com abundância de água natural e elevados índices pluviosidade. Os solos que sustentam este tipo de mangue normalmente apresentam valores de pH elevados, relação C/N alta, e elevados teores de enxofre oxidável, nitrogênio, fósforo e carbono. Ocupam geralmente as margens dos rios e suas planícies de inundação onde o aporte de nutrientes é elevado (Jimenez, 1985).

Mangue Branco (Gênero Laguncularia)

Consegue se desenvolver bem nos mais diversos tipos de solos, desde de arenosos a argilosos. Estes devem, porém, se encontrar em locais com presença de água salobra e posição elevada ou interna onde a frequência e a intensidade das marés é menor. Por ser uma planta que possui um sistema de excreção para sua regulação salina, o mangue branco é capaz de suportar os mais diversos níveis de salinidade (Jimenez, 1988).

Mangue Negro (Gênero Avicennia)

Assim como para os outros tipos de mangue, a presença de água salobra é necessária para seu desenvolvimento com a diferença de se adaptar melhor a ambientes mais secos e

com menor frequência de inundações. A exemplo do mangue branco se desenvolve em solos de diversas texturas e salinidade. É bastante encontrado em solos que apresentem elevadas concentrações de piritita (Jimenez & Lugo, 1988).

Samambaia do mangue (*Acrostichum*) e Agodoeiro da praia (*Hybiscus*)

Estes dois outros componentes da flora do mangue costumam ser encontrados em ambientes de transição entre o manguezal e a terra firme, assim como em locais onde há algum tipo de impacto antrópico. Ambos têm ocorrência comum em solos mais firmes que sofrem menor influência da água do mar (Sugiyama, 1995).

Importância dos manguezais

De importância ecológica já conhecida, são ecossistemas que desempenham papel ecológico chave à medida que abrigam, além de suas espécies características, aquelas que migram para a costa durante a fase reprodutiva. Sua fauna e a flora ainda servem como fonte de alimento e meio de subsistência para as populações humanas (CNIO, 1998; Schaeffer-Novelli, 1999). Inúmeras comunidades ribeirinhas vivem tradicionalmente da exploração dos vários recursos existentes nas regiões costeiras do Brasil, sendo que algumas populações vivem quase que exclusivamente de recursos específicos de áreas de mangue, como caranguejos, moluscos e outros crustáceos. Coelho Jr. & Schaeffer Novelli (2005) destacam as funções e importância dos manguezais:

Funções e importância do ecossistema manguezal (Coelho Jr. & Schaeffer-Novelli, 2005)

Fonte de matéria orgânica particulada e dissolvida para as águas costeiras adjacentes, constituindo a base da cadeia trófica com espécies de importância econômica e/ou ecológica;
 Área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, límnicas e terrestres, além de pouso de aves migratórias;
 Proteção da linha de costa contra erosão, assoreamento dos corpos d'água adjacentes, prevenção de inundações e proteção contra tempestades;
 Manutenção da biodiversidade da região costeira;
 Absorção e imobilização de produtos químicos (por exemplo, metais pesados), filtro de poluentes e sedimentos, além de tratamento de efluentes em seus diferentes níveis;
 Fonte de recreação e lazer, associada a seu apelo paisagístico e alto valor cênico;
 Fonte de proteína e produtos diversos, associados à subsistência de comunidades tradicionais que vivem em áreas vizinhas aos manguezais.

Substrato dos Manguezais: solo ou sedimento?

Em função desse importante papel funcional e de sua posição de transição entre o ambiente marinho e terrestre, o manguezal vem sendo objeto de estudo das mais diversas áreas do conhecimento (biologia, oceanografia, ecologia, geologia), inclusive da pedologia. Entretanto, é comum no meio científico de modo geral e até mesmo entre pedólogos, a designação do substrato, onde se desenvolve a vegeta-

ção de mangue, como sedimento e não como solo.

Muitos são os autores que se referem ao substrato de ambientes estuarinos, que suportam plantas superiores, como sedimentos e assim o estudam (Corredor & Morrel, 1994; Mackey & Mackay, 1996; Madureira *et al.*, 1997; Clark, 1998; Clark *et al.*, 1998; Tam & Wong, 1998; Kristensen *et al.*, 2000). Em grande parte, a pequena quantidade de trabalhos realizados na área de pedologia, acerca da gênese e classificação de solos de ambientes es-

tuarinos no Brasil (Lima & Costa, 1975; Lepsch et al., 1983; Silva & Mattos, 1999; Prada-Gamero, 2001) e no mundo, favorece a ausência de um consenso nesse sentido.

Apesar de parecer apenas uma questão de cunho conceitual, um consenso na denominação destes substratos como solo envolve o estudo detalhado de suas características e o entendimento de seus processos que, por sua vez, se encontram diretamente relacionados à manutenção e preservação destes ecossistemas tão importantes sob o ponto de vista ecológico.

A atual definição de solo (Soil Survey Staff, 1998) considera que este “consiste de seções aproximadamente paralelas (denominadas horizontes ou camadas) que se distinguem do material de origem, inicial, como resultado de

adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria e tem a habilidade de suportar o desenvolvimento do sistema radicular de espécies vegetais, em um ambiente natural”.

Sendo assim, para justificar a conceituação destes substratos como solos, além do fato desses possuírem a habilidade de suportar o desenvolvimento do sistema radicular de espécies vegetais, é necessário evidenciar a ocorrência de processos pedogenéticos (adição, perdas, translocações e transformações) (Simonson, 1959; Embrapa, 1999).

Os processos pedogenéticos de adição envolvem aportes de material mineral via transporte aluvial e coluvial e, ainda, o aporte de material de origem orgânica. Demas & Rabenhorst (1999), estudando estes processos em

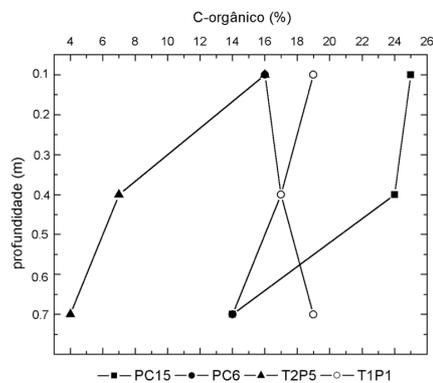


FIGURA 4. Conteúdos de Carbono orgânico (C-org) em função da profundidade em quatro perfis de solo de mangue da Baixada Santista (Guarujá-SP).

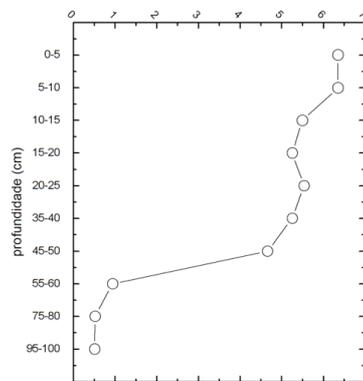


FIGURA 5. Conteúdos de Carbono orgânico (C-org) em função da profundidade em um perfil de solo de mangue do Litoral Sul do Estado de São Paulo (Ilha de Pai Matos).

solos de ambientes estuarinos, destacam, como processos de adição, a ocorrência de aportes de material orgânico, mineral e biogênico (carbonato de cálcio proveniente de conchas).

Processos pedogenéticos: adições

No caso dos substratos de mangue, o principal processo de adição que se pode evidenciar é o de material orgânico sendo este proveniente da vegetação (folhas, galhos etc) e da decomposição de raízes mortas. Este processo fica claramente evidenciado nesses substratos pela distribuição dos valores de C orgânico no perfil, onde os maiores valores aparecem em superfície seguidos de uma diminuição com a

profundidade. Este comportamento dos valores de C orgânico evidenciam ao papel da vegetação no aporte de matéria orgânica para o solo, conforme mostram as Figuras 4 e 5.

Em um estudo realizado em três diferentes manguezais do Litoral Sul do Estado de São Paulo, todos colonizados pela espécie *Rhizophora mangle*, obteve-se uma massa média de raízes mortas de 10.01 t ha⁻¹. Esta alta concentração de biomassa alocada no sistema radicular é um dos principais fatores responsáveis pelo grande acúmulo de matéria orgânica nos substratos de manguezais e, portanto, pela gênese dos horizontes hísticos.



FIGURA 6. Emaranhado de raízes, concentrado normalmente na camada de 0-30 ou 0-40 cm de profundidade, constituindo um horizonte hístico e determinando a ocorrência de organossolos nos manguezais.

Processos pedogenéticos: translocações

Um dos processos pedogenéticos de translocação ativos nos solos de mangue consiste na translocação e precipitação do ferro dissolvido (Fe²⁺) nas camadas superficiais.

Em um estudo realizado em solos de mangue do Litoral Sul do Estado de São Paulo

foram encontradas maiores concentrações de ferro associado aos óxidos e oxidróxidos nas camadas superficiais ($249.29 \pm 13.57 \mu\text{m g}^{-1}$) quando comparadas às encontradas em sub-superfície ($122.69 \pm 71.51 \mu\text{m g}^{-1}$) (Figura 7a), evidenciando a mobilização de ferro dissolvido (presente em elevadas concentrações na água intersticial) no sentido da superfície devido ao fluxo de água ascendente gerado pelas raízes

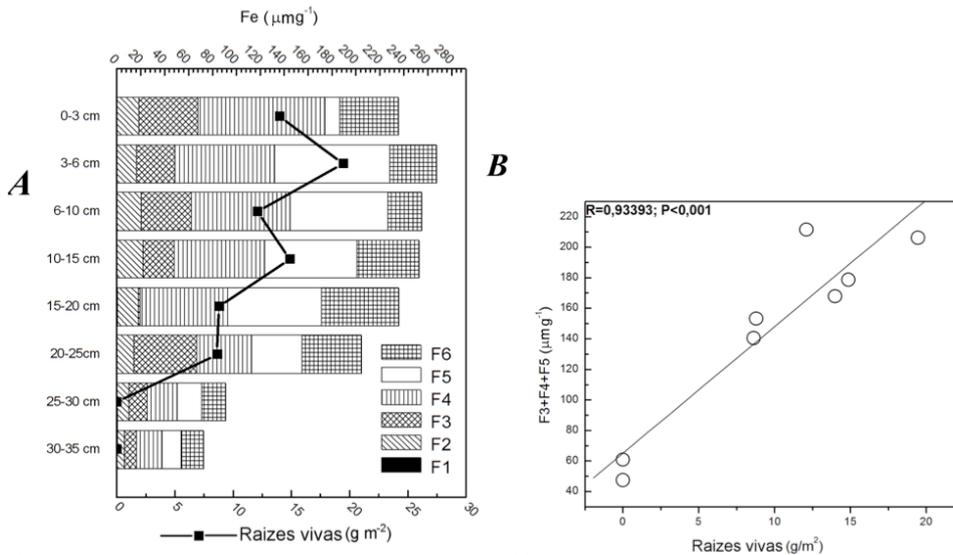


FIGURA 7. Extração seqüencial de Fe e densidade de raízes vivas realizadas em amostras de diferentes profundidades de um solo de mangue do Litoral Sul do Estado de São Paulo (A). Onde: Fe trocável (F1); Fe associado aos carbonatos (F2); Fe associado à ferridrita (F3); Fe associado à lepidocrocita (F4); Fe associado à oxihidróxidos de Fe cristalinos (F5); Fe associado à pirita (F6). Correlação entre oxihidróxidos de Fe e densidade de raízes vivas no perfil (B).

das plantas. Em superfície este ferro encontra condições mais oxidantes e acaba se precipitando na forma de óxidos e oxidróxidos de Fe. A correlação positiva e altamente significativa encontrada entre as formas de Fe amorfas e cristalinas e a densidade de raízes vivas no perfil estudado comprovam este processo (Figura 7b).

Processos pedogenéticos: transformações.

Processos pedogenéticos de transformação são aqueles que consistem em mudanças tanto da fração orgânica como da fração mineral (Simonson, 1959). Dentre a grande quantidade deste tipo de processo, dois são facilmente encontrados em solos de ambientes estuarinos: a transformação do SO_4^{--} nos chamados materiais sulfídricos (processo de piritização ou sulfidização) e a transformação do Fe-férrico em Fe-ferroso (processo de gleização). O processo de formação de materiais sulfídricos pode levar à formação direta da pirita ou então à formação de sulfetos de ferro menos estáveis (precurso-

res da pirita), como a greigita e mackinawita, conhecidos por sulfetos ácidos voláteis (AVS) e posteriormente pirita (Otero, 2000; Otero & Macias, 2002).

A piritização é um processo intimamente ligado aos ciclos biogeoquímicos do enxofre e do ferro nestes ambientes e, de acordo com Breemen & Buurman (1998), envolve: a redução do sulfato a sulfeto pela ação da bactéria redutora do sulfato (*Desulfivibrio* sp.); a oxidação do sulfeto a dissulfeto e a reação deste com minerais de ferro. No substrato do mangue é natural a combinação de elevados conteúdos de matéria-orgânica, condições anaeróbicas, fontes de Fe reativo (óxidos de ferro) e fontes de SO_4^{2-} (água do mar) prontamente disponíveis (Doner & Lynn, 1989; Rabenhorst & Fanning, 1989; Breemen & Buurman, 1998; Demas & Rabenhorst, 1999) o que faz destes ecossistemas ambiente propício à ocorrência da redução bacteriana do sulfato a sulfeto e seu consequente acúmulo sob a forma de pirita (FeS_2), ou seja, à piritização.

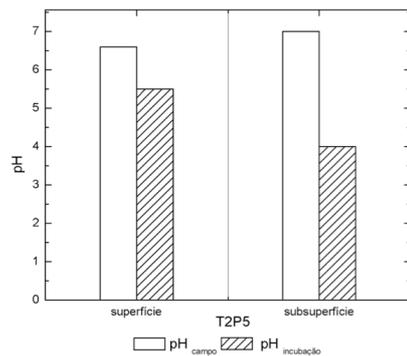


FIGURA 8. Valores de pH de campo e pH de incubação (pH após 8 semanas) em perfil de solo de mangue da Baixada Santista nas camadas superficiais e subsuperficiais (0-20 e 60-80 cm).

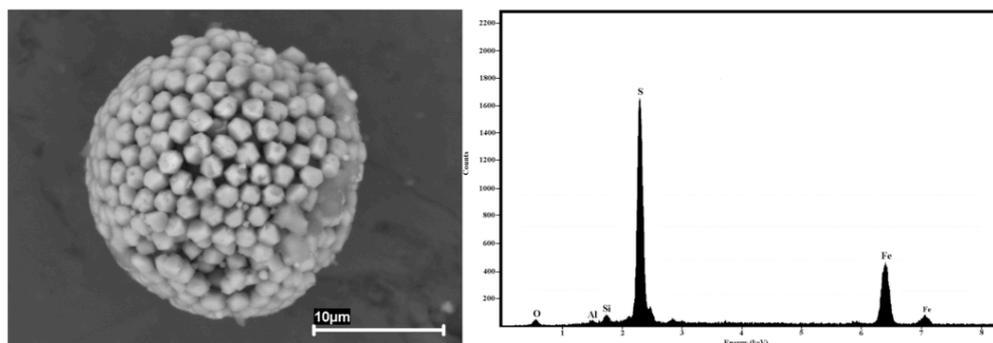


Figura 9. Imagem obtida em microscópio eletrônico de varredura (MEV) e seus respectivos espectros de microanálise de espectrometria de energia dispersiva de raios-X (EDS) confirmando a presença da pirita e a ocorrência do processo de piritização nos solos estudados

A característica mais marcante de um substrato que contém materiais sulfídricos é que, ao ser drenado, a exposição dos sulfetos de ferro a condições aeróbicas promove o surgimento de condições extremamente ácidas ($\text{pH} < 3,0$) acompanhadas por fitotoxicidades por Al^{3+} e deficiências de fósforo. Estas conseqüências encontram-se ligadas ao caráter extremamente ácido do H_2SO_4 que é a forma mais estável do enxofre sob condições oxidantes (Fitzpatrick *et al.*, 1999). É em função desta dinâmica, que a incubação desses solos sob condições aeróbicas (durante oito semanas) e o acompanhamento dos valores de pH consiste em maneira simples de se evidenciar a presença de materiais sulfídricos (Figura 8).

No caso da gleização, as cores encontradas são a principal e a mais simples evidência da ocorrência deste processo (Figura 10). O alagamento a que estão submetidos os solos de mangue promove uma queda na taxa de difusão do oxigênio fazendo com que esta se torne muito inferior àquela demandada pelos microrganismos para a oxidação aeróbica da matéria orgânica. A decomposição desta passa então a ocorrer através de microrganismos anaeróbios e às custas de outros receptores de elétrons que não o O_2 , seguindo-se a seguinte seqüência termodinâmica: NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , CO_2 (metanogênese), N_2 e H^+ . (Ponnamperuma, 1972; Froelich *et al.* 1979; Schulz, 2000).



Figura 10. Perfil de solo de mangue com coloração acinzentada característica de um ambiente com presença do processo de gleiização.

Outra forma de análise que permite a identificação do processo de gleiização é a presença comum nesses solos de uma matriz com tons

everdeados/azulados, evidenciando a presença de formas reduzidas de Fe (Schwertmann, 1992). Os compostos que dão lugar a esta cor não estão ainda bem caracterizados. Neste sentido, van Breemen (1988) faz referencia a um material pobremente definido denominado “green rust”. Este material está constituído por hidróxidos mixtos de Fe^{II} y Fe^{III} numa relação Fe^{II}/Fe^{III} variável que pode oscilar entre 0.8 e 3.6, o que gera um excesso de carga positiva que é neutralizada por ânions como o Cl⁻, SO₄⁼, CO₃⁼ (Schwertmann, 1992; Cornell e Schwertmann, 1996). Mais recentemente, Bourrié et al. (1999) estabeleceram que estes recobrimentos obedecem à fórmula [Fe^{II}_{1-x}-Fe^{III}_x(OH)₂]^{+x} [x/z A^{z-}]^{-x}; onde A- pode ser Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃⁼, o OH⁻ e onde x oscila entre 0 e 1. Em muitos casos, em função da ação oxidante do sistema radicular das plantas, levando a rizosfera a condições subóxicas, é comum o domínio da forma de ferro dissolvido sobre as de sulfetos (exigem condições mais anóxicas para sua formação).

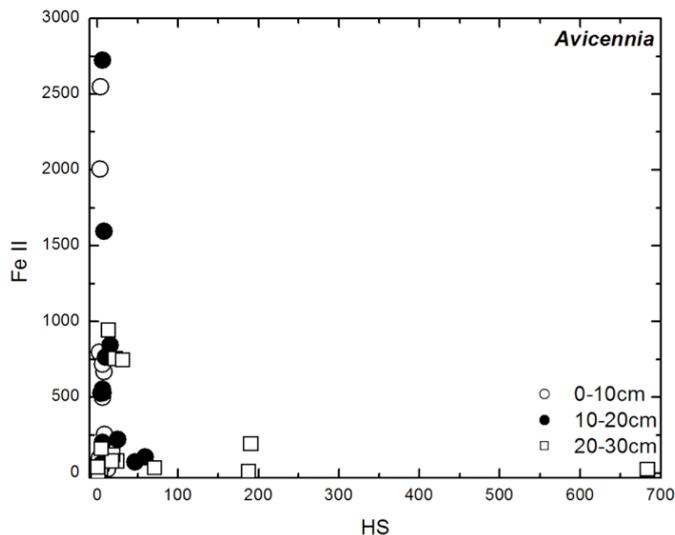


FIGURA 11. Conteúdo de Fe²⁺ e S⁼ na água intersticial obtidos em solos de mangue de *Avicennia*. Observe-se a dominância do Fe (II) sobre o sulfeto (pontos deslocados no sentido do eixo y). Nota-se que nas camadas sub-superficiais (□) o domínio geoquímico volta a ser das formas solúveis de sulfeto devido a presença de uma condição mais anóxica ou pela diminuição dos oxihidróxidos de Fe que foram transformados em pirita.

A constatação da atividade de processos pedogenéticos em substratos de manguezal permite estabelecer um limite entre os campos da diagênese e pedogênese nestes ambientes, estando ambos os processos ativos nos solos de mangue. A diagênese diz respeito a todas as alterações sofridas por sedimentos recém-depositados desde sua deposição até sua litificação ou metamorfismo (Larsen & Chilingar, 1967; Singer & Müller, 1988). Normalmente são alterações que levam à compactação e a homogeneização do material. Os processos pedogenéticos, por sua vez, atuam no sentido oposto. A ação da pedogênese leva à diferen-

ciação das camadas do material sedimento fazendo surgir diferentes horizontes e camadas. No caso dos solos de mangue devem se destacar os horizontes hísticos (H) e glei (Cg). Por outro lado, a diagênese pode ser responsável pela neoformação de minerais de argila nos solos de mangue, especialmente em sub-superfície onde a interação com a atmosfera é menor e, portanto a pedogênese se encontra menos ativa. A intensificação de picos de esmectitas com a profundidade em alguns solos de manguezais da Baixada Santista parece sustentar esta hipótese (Figura 12).

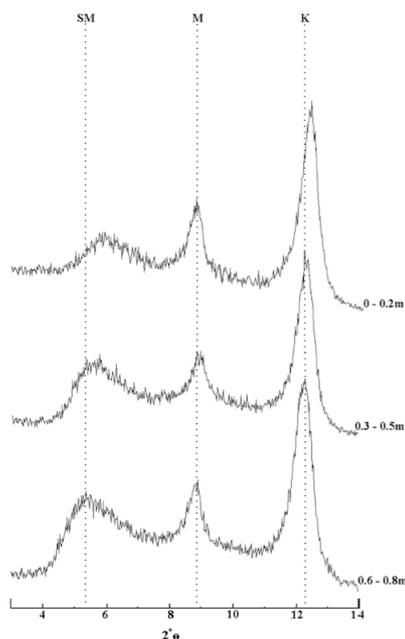


FIGURA 12. Difratoogramas de raios-X de amostras de solos de mangue de diferentes profundidades evidenciando a intensificação dos picos de esmectita (SM) em sub-superfície.

Consideramos que as modificações sofridas por estes substratos são devidas a uma ação simultânea dos processos pedogenéticos e diagênéticos sendo a pedogênese dominante nas camadas superficiais (interação com vegetação e fauna) enquanto em sub-superfície ocorre uma dominância gradativa dos processos diagênéticos sobre os pedogenéticos (Figura 13). Os solos devem ser entendidos como sistemas

mais complexos onde a interação do sedimento (material de origem) com a atividade biológica (vegetação e fauna) se encontra obrigatoriamente presente influenciando os processos atuantes na interface com a atmosfera. Tratar o substrato como sedimento e não como solo pode supor uma abordagem simplificada dos processos atuantes e/ou a subestimação das interações possíveis.

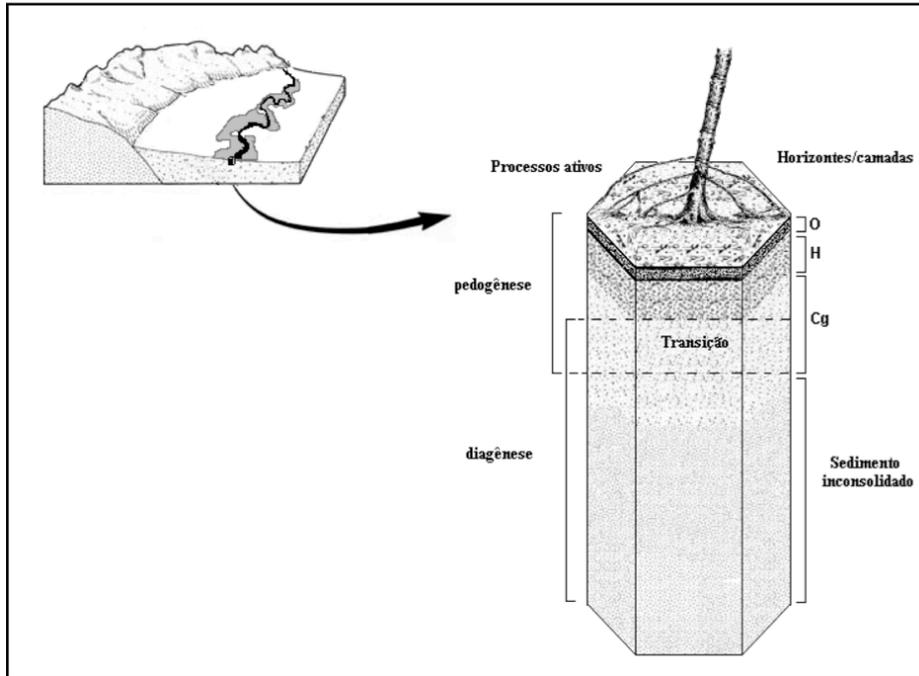


FIGURA 13. Modelo esquemático representando a interação pedogênese-diagênese e a transição gradual entre os campos de ação destes processos nos solos de mangue.

CARACTERÍSTICAS DE SOLOS DE MANGUE

Material de Origem e Classificação dos solos de mangue

O material de partida dos solos de mangue, sedimentos holocênicos em geral, pode variar largamente em sua granulometria e composição mineralógica. No litoral do Estado de São Paulo há ocorrências de solos desde arenosos até muito argilosos, sendo freqüente a ocorrência de solos com elevados teores de silte combinado com argila (Figura 14). Sedimentos fluviais, lagunares, marinho-fluviais e marinhos constituem o material de origem desses solos na transição continente-oceano. Manguezais podem também se desenvolver sobre sedimentos bioclásticos (areias coralinas) como descrito por Alvarez-León (1993) para algumas ilhas do Caribe.

A composição mineralógica dos sedi-

mentos originais guarda relação com o material fonte. Sedimentos fluviais tendem a ter maior influência da mineralogia dos solos que ocorrem na bacia de captação enquanto que os sedimentos marinhos, embora originalmente provenientes também do continente, podem ter sofrido diversas fases de retrabalhamento incluindo aí argilas marinhas neoformadas na plataforma costeira.

No Brasil os solos de mangue, tidos com “indiscriminados” são solos halomórficos desenvolvidos a partir de sedimentos marinhos e fluviais com presença de matéria orgânica e que ocorrem em regiões de topografia plana na faixa costeira sob a influência constante do mar. As variações destes solos podem consistir nos Gleissolos Tiomórficos, Gleissolos Sálícos e Organossolos, todos afetados também pela sulfidização em diferentes graus. Alguns perfis de solos de mangue estudados no litoral de São Paulo não puderam ser enquadrados no

secundariamente por micas, vermiculitas e excepcionalmente esmectitas. Assim sendo, é de se esperar que a composição da fração argila dos solos de mangue reflita essa herança do material de origem e que os solos sejam cauliniticos com boa quantidade de gibbsita.

No entanto, segundo Prakasa & Swamy (1987), a composição mineralógica dos solos de mangue apresenta, com frequência, seqüências relativas de minerais de argila correspondentes, principalmente, à montmorilonita > caulinita > illita > clorita. Marius & Lucas (1991), indicam minerais como o quartzo, halita e até mesmo a jarosita, que necessita de condições mais oxidantes das que temos encontrado em solos de mangue no Brasil, como outros que também podem aparecer compondo a assembléia mineralógica dos solos de mangue. Como veremos adiante, a pirita está sempre presente nesses solos e a goetita pode ser encontrada em alguns solos de mangue (Figura 17), particularmente naqueles originados de sedimentos muito recentes. Cabe, portanto, analisar as condições de formação e estabilidade dos argilominerais nesses ambientes.

A origem dos argilominerais em ambientes costeiros com influência constante dos aportes marinhos e fluviais pode ser, de acordo com Hillier (1995), de dois tipos: detrital ou autóctone. Argilominerais de origem detrital compõe a maior parte (cerca de 90%) dos depósitos sedimentares costeiros e são trazidos de outros ambientes pela ação hídrica e/ou eólica. Já os argilominerais autóctones são formados *in situ*. A origem autóctone de argilominerais nesses ambientes pode ter 02 caminhos de formação: precipitação direta a partir de íons presentes na solução salina (halmirólise) e a transformação a partir de um mineral precursor.

Hillier (1995) destaca que a identificação de esmectitas autóctones em ambientes marinhos é muito difícil em função da capacidade destes argilominerais se misturarem com material detrital alóctone de mesma estrutura (esmectitas detritais). O autor considera, como

uma regra geral, que a formação de esmectitas nestes ambientes é reduzida e que, no caso desta ocorrer, geralmente o mineral formado é a nontronita.

O ambiente geoquímico no ambiente do manguezal pode ser classificado como halo-mórfico, ou seja, é caracterizado por ser um meio concentrado e por apresentar valores de $\text{pH} \geq 5,0$. Sob estas condições o intemperismo hidrolítico (perda de sílica e bases - predominante em solos bem drenados) se torna inoperante. Sendo assim, o ambiente é marcado pelo intemperismo salinolítico.

Na salinólise, a presença de bases em abundância (meios concentrados) e a presença da sílica (H_4SiO_4) e do alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) priorizam o processo cristalóquímico da bisialitização gerando, portanto, somente argilominerais do tipo 2:1.

Em vista do ambiente geoquímico caracterizado acima e da, já destacada (Weaver, 1989), predominância das formas detritais sobre as neoformadas, se descarta a formação da caulinita neste ambiente sendo, portanto, a origem alóctone, representada pelas partículas finas trazidas em suspensão com as marés, a principal fonte deste argilomineral (Rabenhorst & Fanning, 1989).

No caso da esmectita, duas fontes seriam possíveis: (a) o aporte deste argilomineral por meio dos sistemas hídricos atuantes (rio e maré) o que a definiria como esmectita detrital (Kelly & Webb, 1999; Harris & Whiting, 1999); (b) a alteração de micas a através da liberação do K (facilitada em função da semelhança existente entre as estruturas tetraédricas destes argilominerais) (Fanning *et al.*, 1989).

A alteração das micas a esmectitas pela perda do K não parece ser possível em função nestes solos devido às elevadas concentrações de K presentes. A origem alóctone, por outro lado, apesar de considerada na bibliografia como fonte da maior parte dos argilominerais em ambientes costeiros, normalmente está relacionada a montmorilonita e/ou beidelita de

acordo com Hillier (1995). No caso da formação destes argilominerais 2:1, em função do ambiente geoquímico presente, deve ser considerada como principal hipótese a da formação da nontronita, em vista de sua origem preferencial nestes ambientes conforme considera Hillier (1995).

A glauconita, uma ilita dioctaedral com Fe^{2+} e Fe^{3+} nas posições octaedrais (Fanning *et al.*, 1989) e K, Na ou Ca nas intercadas (Köster, 1981), é um dos argilominerais que poderia ser encontrado nos solos de mangue (Prada-Gamero, 2001), mais provavelmente como consequência de retrabalhamento e deposição do que por neogênese nos solos de mangue, pois é normalmente formada normalmente em sistemas marinhos de baixa taxa de sedimentação (Amorosi, 1997). A presença de fontes de Fe, K, Al e Si é essencial para a formação de argilominerais desta natureza além de ambientes parcialmente redutores e situados na interface sedimento-água do mar (Hillier, 1995; Kelly & Webb, 1999).

Na composição das frações grosseiras (silte e areia) dos solos de mangue os minerais mais comuns são o quartzo as micas e os feldspatos, variando em proporção e tipo de acordo com a litologia regional. Minerais pesados contendo Fe e Ti também podem fazer parte e o

farão de forma mais significativa em regiões onde ocorrem rochas máficas nas proximidades dos estuários. Um componente freqüente da fração silte desses solos é a piritita, que é de origem pedogenética e sua formação decorre do processo de sulfidização anteriormente comentado. De acordo com Breemen & Buurman (1998) a formação da piritita pode ser extremamente rápida, podendo ocorrer em anos ou décadas, sendo diretamente favorecida pela intensidade de inundação das marés. Os autores destacam que a formação destes sulfetos é muito mais lenta em locais onde existe maior estagnação de água e menor influência marinha.

No Brasil, os estudos com a composição mineralógica da fração argila são escassos. No Espírito Santo uma exceção aparece na literatura: os manguezais de Vitória estudados por Marius *et al.*, (1987) apresentaram grande quantidade de gibbsita, classificada pelos autores como detrital e derivada dos sedimentos da Formação Barreiras. Nossos estudos ao longo do litoral do Estado de São Paulo, no entanto, têm mostrado que realmente a caulinita está presente e domina a fração argila da maioria dos solos de mangue mas há uma importante variação na quantidade de esmectita, mica e gibbsita, embora esta última seja escassa.

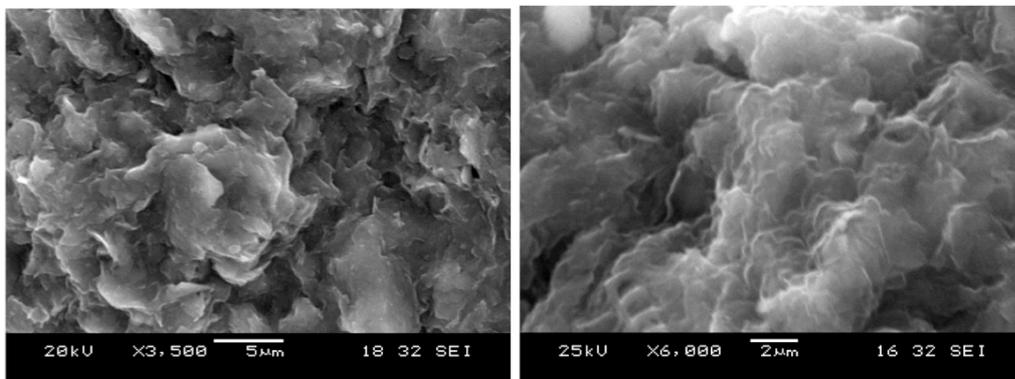


FIGURA 15. Morfologia das esmectitas observadas em amostras de subsuperfície em solos de mangue da Baixada Santista (SP).

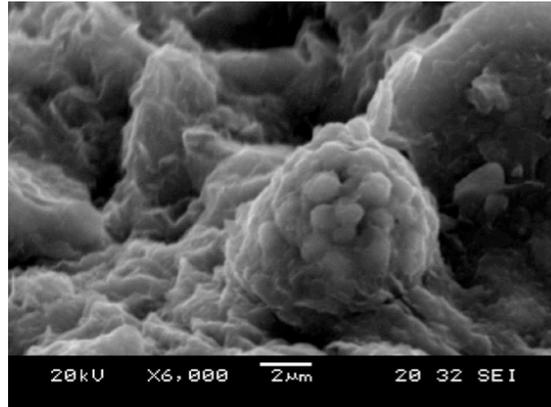


FIGURA 16. Imagem de agregado framboidal de pirital em amostra subsuperficial de solo de mangue na Baixada Santista (SP).

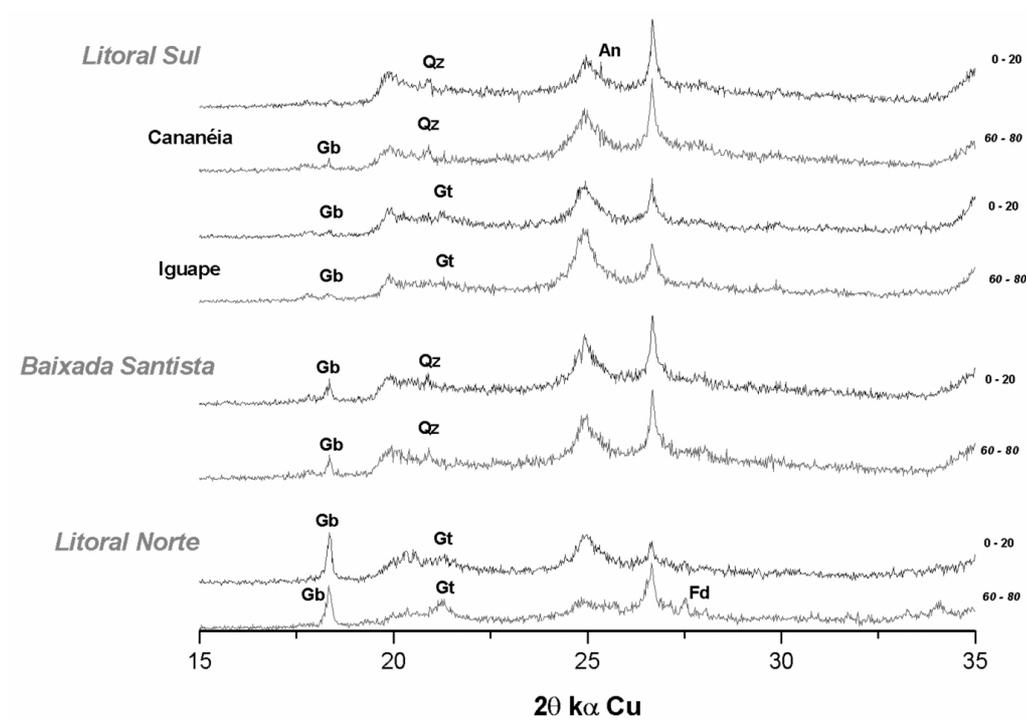


FIGURA 17. Difratomogramas da fração argila, tratados por NaOH para verificação de óxidos, de solos de mangue do litoral do estado de São Paulo. Note-se as diferentes ocorrências de Gibbsita (Gb). Os manguezais menos gibbíticos são aqueles que se situam em ambientes de grandes estuários ou sistemas lagunares. Gt: Goetita.

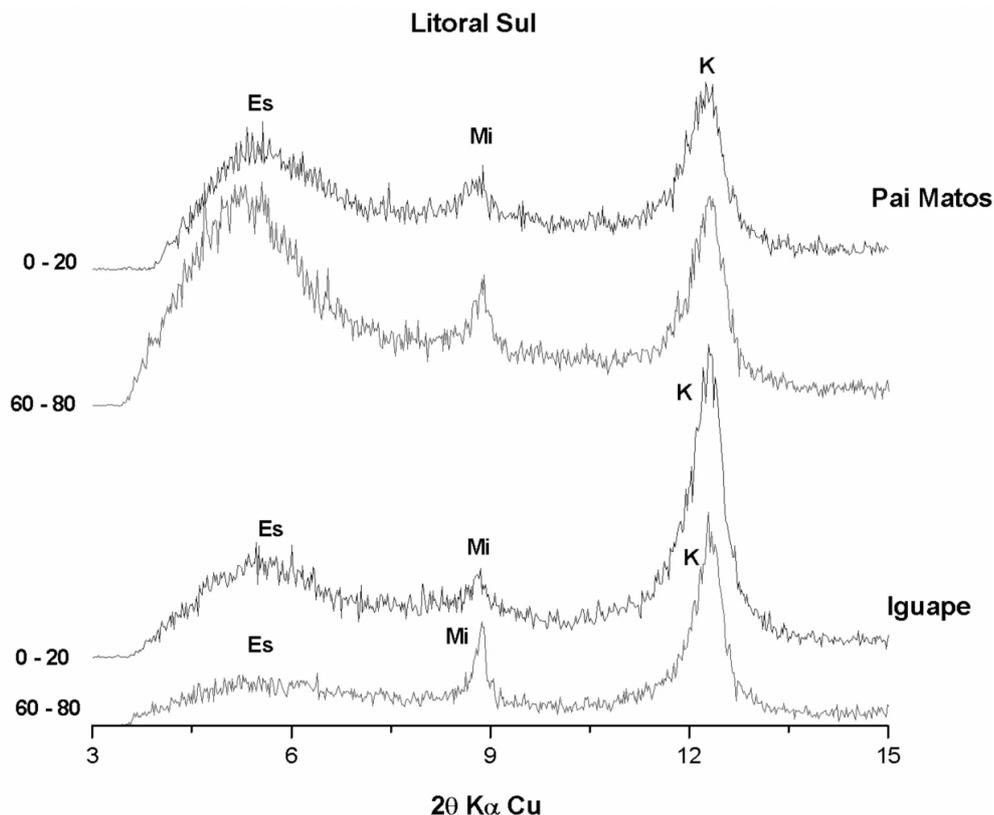


FIGURA 18. Difratoogramas da fração argila de solos de mangue do sistema lagunar-estuarino Iguape-Cananéia (SP). Es: esmectita; Mi: mica e K: caulinita. Pai Matos é uma ilha no extremo sul do sistema e Iguape fica no extremo norte do mesmo.

Os sedimentos que deram origem ao manguezal estudado em Iguape são muito recentes (100 anos) e decorrem da abertura do canal do valo grande (Rio Ribeira do Iguape). Já a ilha de Pai Matos está situada no meio do canal de Cananéia e a deposição dos sedimentos foi muito mais lenta (em torno de 5000 anos). A diferença nas intensidades dos picos das esmectitas (Es) em ambos os casos, sugere que a quantidade de esmectita é tempo-dependente e isso poderia estar associado à sua origem pedogenética. Se confirmada essa hipótese, que está de acordo com as condições de formação e estabilidade desses minerais, haverá que reconsiderar a velocidade de neoformação ou autigênese de argilominerais

indicada na bibliografia. Na verdade, as esmectitas poderiam se neoformar nesses solos na escala das centenas de anos e não nas dezenas de milhares como sugerem alguns autores para os sedimentos de fundo oceânico. Outra hipótese que se pode aventar é que a quantidade de esmectita no solo de mangue depende do tempo de residência das argilas no ambiente sedimentar, uma vez que os depósitos finos podem ser retrabalhados e redepositados continuamente.

Finalmente, para se interpretar adequadamente a origem e a dinâmica das transformações que ocorrem na fração argila dos solos de mangue no Brasil, é importante ter um entendimento do ambiente de sedimentação estu-

dado, dos possíveis materiais fonte e considerar a dinâmica costeira durante o pleistoceno/holoceno. Estudos isolados de perfis de solos sem essa abordagem integrada podem não ir além de uma caracterização mineralógica.

Química de Solos de Mangue

Condições físico-químicas

A inundação a que são freqüentemente submetidos os solos de mangue é responsável por importantes alterações físico-químicas. Estas alterações podem causar: a queda do potencial redox, o aumento dos valores de pH além de mudanças drásticas no equilíbrio de

minerais e na dinâmica de elementos como o ferro e o enxofre.

Segundo Ponnampertuma (1972), a difusão de O_2 em solos inundados diminui cerca de 10.000 vezes nos primeiros centímetros onde o contato com atmosfera ainda é facilitado. Porém em profundidade, os valores de O_2 costumam diminuir mais intensamente chegando a concentrações nulas.

Este comportamento do O_2 pôde ser observado nos solos estudados através de seus valores de Eh, que se mostraram, de maneira geral, menores em subsuperfície do que em superfície conforme mostra a Figura 19.

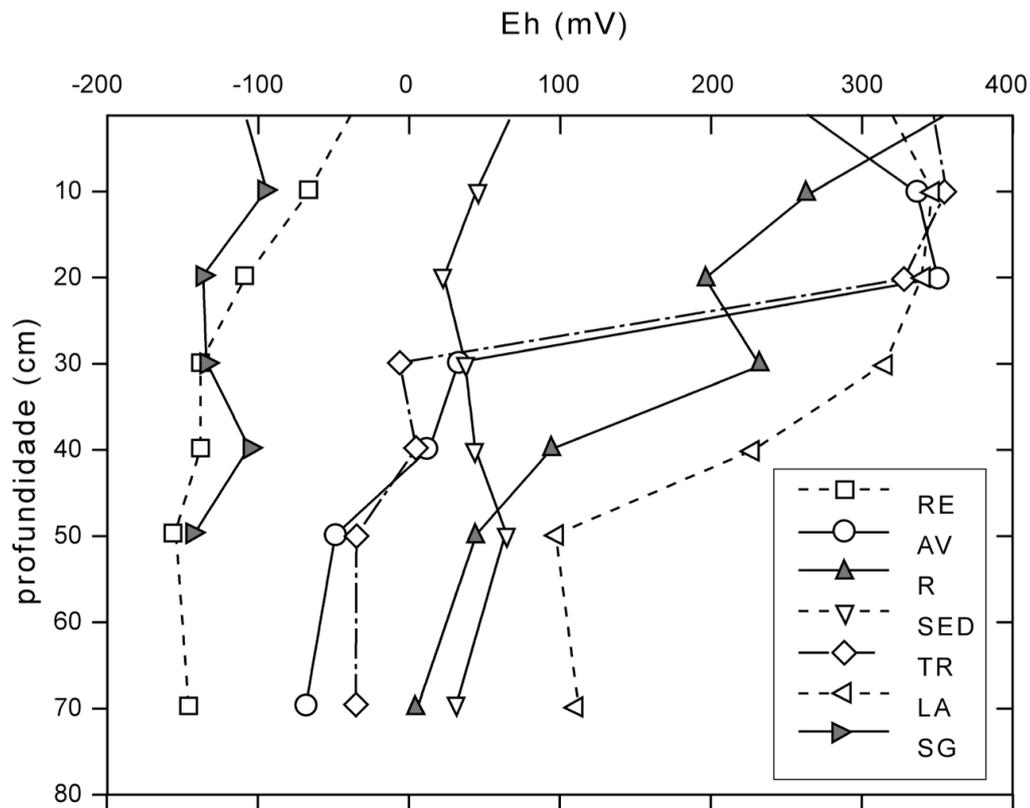


FIGURA 19. Valores de Eh obtidos no campo em manguezais do sul do Estado de São Paulo: parcelas da Ilha de Pai Matos (AV: *Avicennia*, R: *Rhizophora*, SED: Sedimento sem vegetação, TR: Transição, LA: *Laguncularia*) e Ilha do Cardoso (SG: rio Sítio Grande, RE: transição restinga-mangue)

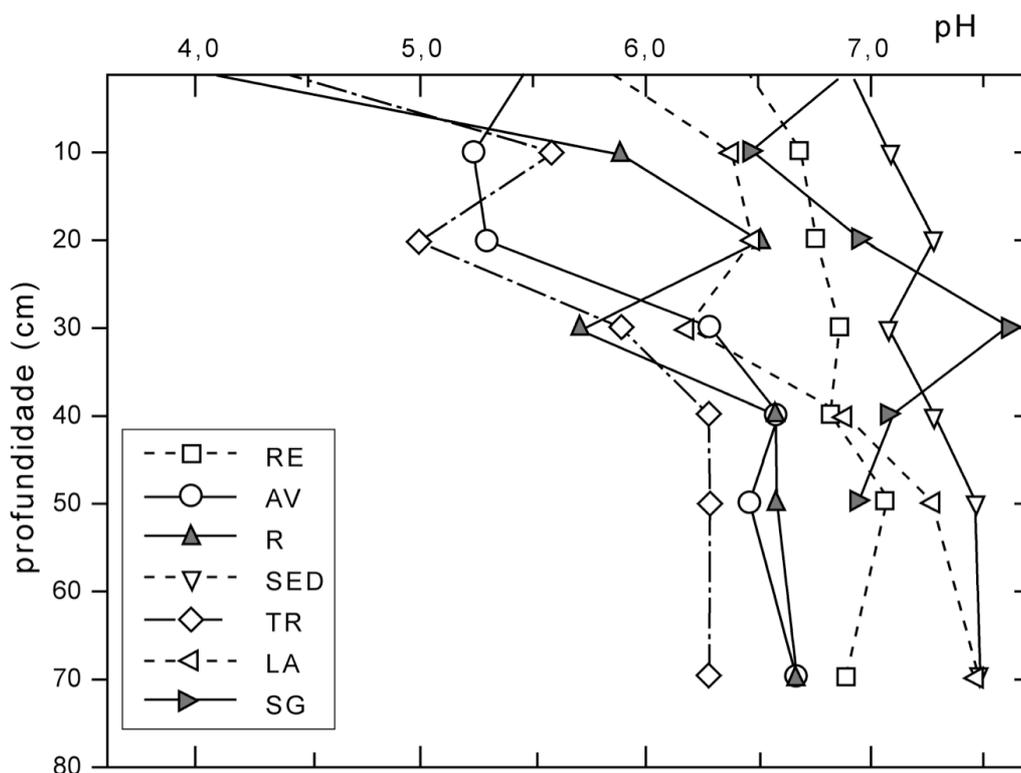


FIGURA 20. Valores de pH obtidos no campo em manguezais do sul do Estado de São Paulo: nas parcelas da Ilha de Pai Matos (AV: *Avicennia*, R: *Rhizophora*, SED: Sedimento sem vegetação, TR: Transição, LA: *Laguncularia*) e Ilha do Cardoso (SG: rio Sítio Grande, RE: transição restinga-mangue)

Nas camadas superficiais, devido ao caráter tiomórfico destes solos e à maior concentração do sistema radicular, é comum o estabelecimento de condições mais oxidantes. Assim que se torna comum nestas camadas a associação de elevados valores de Eh com baixos valores de pH, gerados pela oxidação dos sulfetos de Fe. Por outro lado, em sub-superfície as condições anóxicas voltam a predominar e os valores de pH voltam a subir. Esta relação pH x Eh fica bem representada pela correlação presente na Figura 21.

Biogeoquímica do Fe e S: sazonalidade

As variações sazonais incessantes em função

da amplitude das marés e das diferentes estações climáticas (influência sobre o aporte de matéria orgânica, sedimentos continentais pelas chuvas etc) submetem a biogeoquímica e as condições físico-químicas dos solos de mangue a constantes modificações fazendo delas ora oxidantes e ora redutoras (Hines, 1989 e Luther, 1991 citados por Otero & Macias, 2002). Este fato age diretamente sobre a dinâmica do Fe e do S.

Os compostos de enxofre são de importância chave para os ciclos biogeoquímicos ativos em ambientes costeiros alagados principalmente pelo fato de a redução bacteriana do sulfato se constituir na forma de res-

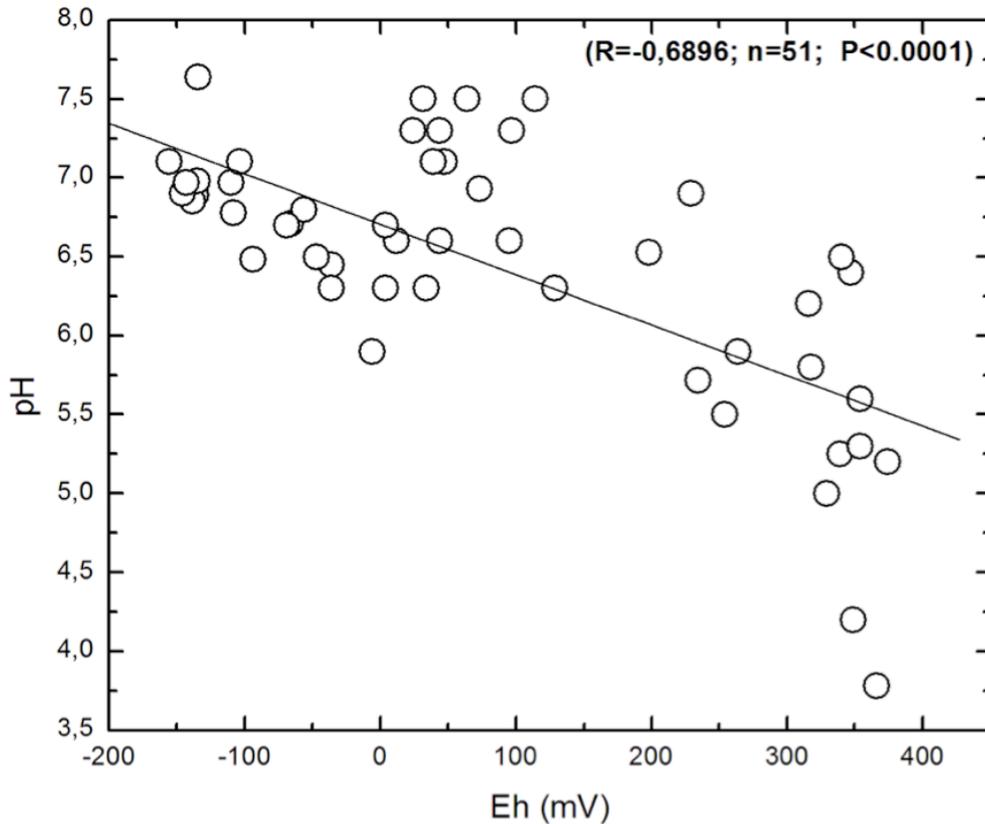


FIGURA 21. Correlação negativa altamente significativa entre os valores de pH e Eh em amostras de solos de manguezais do sul do Estado de São Paulo em diferentes profundidades.

piração preponderante nestes locais (Mackin & Swider, 1989). O sulfeto gerado pela redução do sulfato pode apresentar inúmeros destinos nestes ambientes. Na presença de ferro livre a maior parte destas formas reduzidas de enxofre irão se precipitar de forma relativamente definitiva sob a forma de sulfetos de ferro (FeS e FeS_2) (Moeslund *et al.*, 1994). Na ausência de ferro livre, entretanto, os sulfetos livres (HS^-) gerados pela redução do sulfato podem se difundir para as camadas superiores mais oxidadas. Neste caso o sulfeto é reoxidado a sulfato através de uma cadeia química e biológica complexa que envolve a existência de elementos que atuem como receptores de elétrons (O_2 , Mn^{4+} , NO_3^- e Fe^{3+}).

A seguir são apresentados alguns resultados que estamos obtendo sobre a variabilidade sazonal de atributos químicos dos solos de mangue da Ilha de Pai Matos (Cananéia, SP).

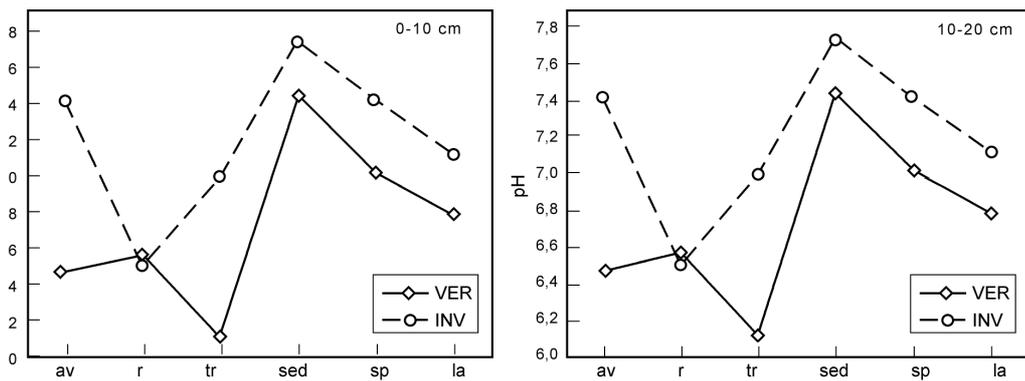


FIGURA 22. Valores médios de pH encontrados em diferentes compartimentos de vegetação da Ilha de Pai Matos em duas épocas distintas. No verão a atividade das plantas e macro-fauna do solo (caranguejos) é intensificada gerando condições mais oxidantes e promovendo a oxidação da pirita (especialmente nas camadas superficiais).

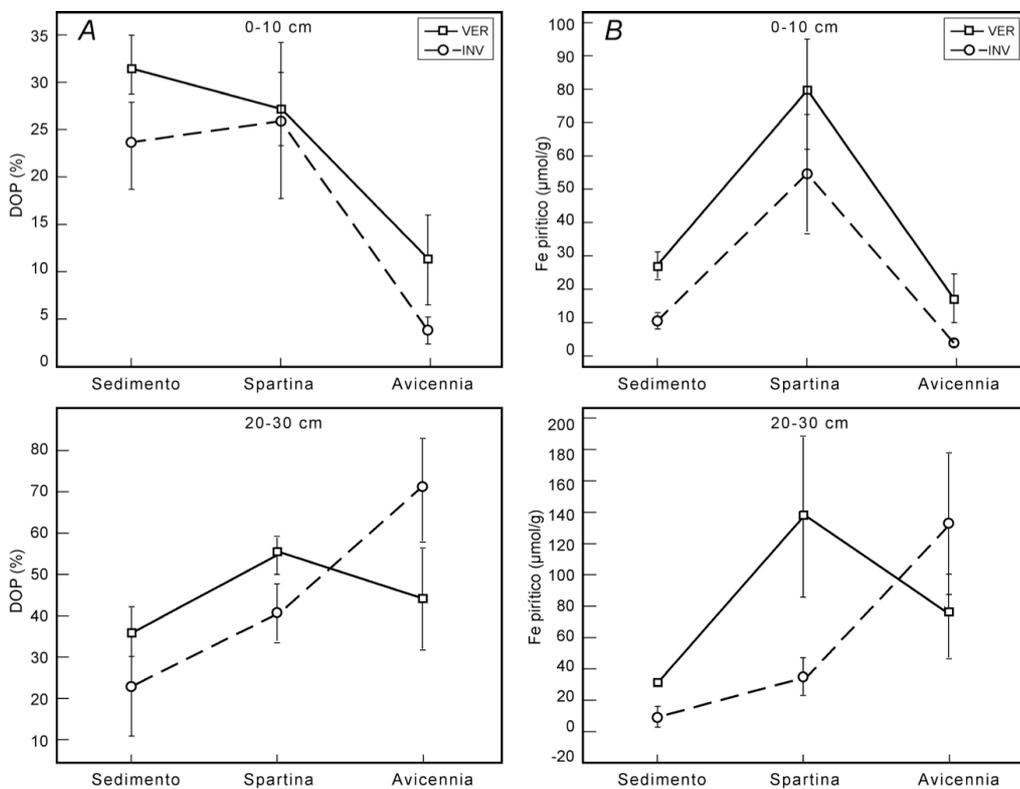


FIGURA 23. Valores (média \pm desvio padrão) de grau de piritização (A) e Fe pirítico (B) encontrados em solos de manguezais do sul do Estado de São Paulo: para as diferentes parcelas e profundidades em duas épocas distintas. Todas as médias encontradas para as duas épocas diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A exemplo dos resultados obtidos para a especiação do ferro, os valores de AVS também apresentaram diferenças sazonais claras com as

maiores concentrações desta fração ocorrendo no inverno (Figura 24).

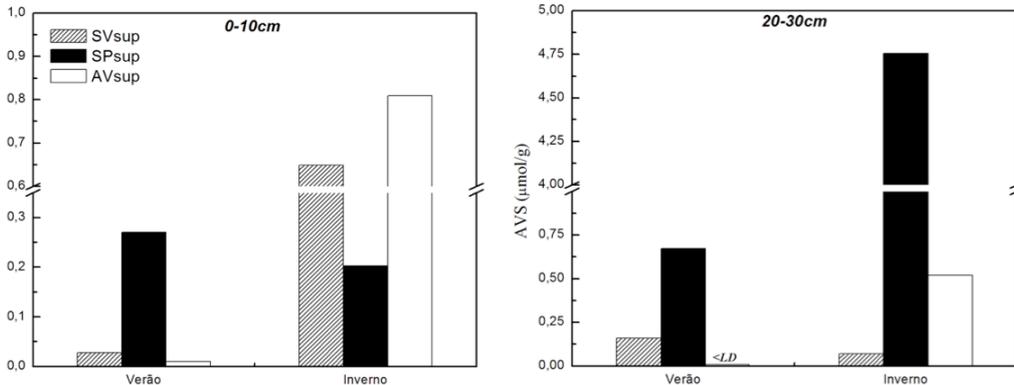


FIGURA 24. Valores médios de AVS ($\mu\text{mol/g}$) encontrados para as diferentes parcelas e profundidades nas duas épocas estudadas. SV: sem vegetação; SP:spartina, AV: Avicennia.

O papel da fauna e da vegetação sobre a biogeoquímica de solos de mangue

A atividade da fauna e da flora que habitam ambientes sedimentares exerce considerável influência sobre as condições biogeoquímicas dos solos presentes nesses ambientes.

A fauna afeta o equilíbrio físico-químico dos solos através do retrabalhamento de suas partículas durante a busca por alimento ou pela própria ingestão deste material. Esta bioturbação e construção de canais biológicos têm um grande efeito sobre a biogeoquímica dos solos devido ao transporte de matéria orgânica não-decomposta para as camadas sub-superficiais e à transferência de compostos reduzidos para regiões oxidantes (Hines & Jones, 1985). A bioturbação afeta ainda a físico-química destes solos a partir do momento em que esta rompe a zonação vertical dos processos biogeoquímicos (Aller & Yingst, 1985). Isto resulta em porções oxidadas e/ou micro-sítios oxidados dispostos em subsuperfície em função da disposição dos canais biológicos. Neste sentido, elementos sensíveis a mudanças nas condições redox (por

exemplo, ferro e enxofre), ao serem oxidados ou reduzidos, têm sua dinâmica alterada como resultado da atividade biológica podendo sofrer incrementos ou diminuições em suas concentrações na água intersticial (Hines *et al.*, 1984) e nas fases sólidas.

De fato em um estudo realizado em manguezais do litoral Sul do Estado de São Paulo obtemos resultados que indicam que a atividade de caranguejos promove a oxidação do solo através da construção de canais (Figura 25).

Na época de maior atividade de caranguejos (verão) há uma maior taxa de difusão de O_2 para o interior do solo fazendo com haja uma queda do grau de piritização e ainda uma oxidação da fração piritica (F6, Figura 25). Deve-se destacar também que a maior atividade de caranguejos no verão promove um aumento das concentrações de Fe^{II} na água intersticial fazendo com que este fique propenso ser perdido do sistema. Fato que explica as maiores concentrações de espécies de ferro no inverno ($140\mu\text{mol/g}$) quando comparadas as do verão ($62\mu\text{mol/g}$) (Figura 25).

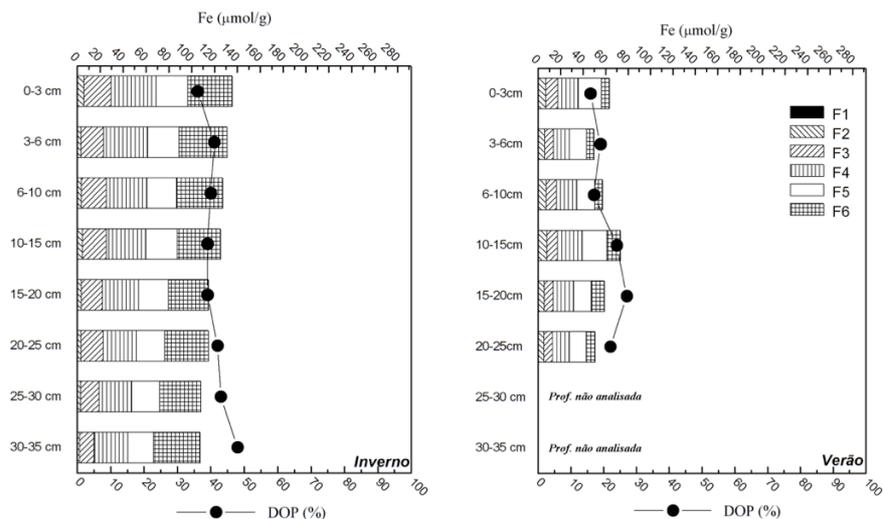


FIGURA 25. Dados de extração seqüencial e grau de piritização em um perfil obtidos em épocas de alta e baixa atividade de caranguejos (verão e inverno, respectivamente).



FIGURA 26. Foto ilustrando o efeito da estação do ano na atividade da fauna do solo (pedoturbação).

A exemplo da atividade da fauna, as plantas vasculares também podem afetar a físico-química destes solos à medida que promovem o transporte de solutos e gases para a região da rizosfera (Mendelsohn *et al.*, 1981).

Além disso, a atividade destas plantas pode resultar no fornecimento de matéria orgâ-

nica necessária à atividade microbiana nas camadas sub-superficiais. De fato em um estudo sobre o efeito da vegetação em solos de mangue obtivemos maiores valores de carbono biomassa em parcelas com vegetação quando comparadas àquelas não vegetadas (Figura 27).

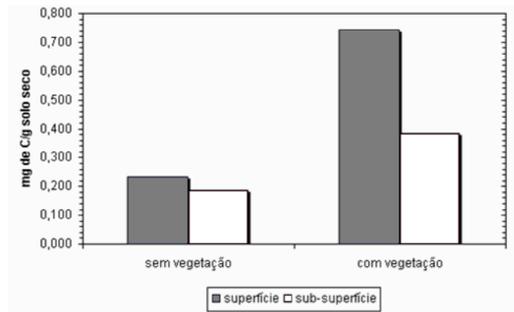


FIGURA 27. Valores de C-biomassa determinados nas camadas superficiais e sub-superficiais das parcelas sem vegetação e com vegetação.

Inúmeras evidências obtidas nas duas últimas décadas indicam que as espécies de mangue são capazes de oxidar suas rizosferas através da translocação de oxigênio absorvido pelas lenticelas nas porções superficiais do solo até as estruturas radiculares localizadas em sub-superfície permitindo sua difusão para o solo do entorno.

Em um estudo comparativo entre parcelas vegetadas e sem vegetação em solos de

mangue do litoral Sul do Estado de São Paulo, encontramos uma maior concentração das formas oxidadas de ferro (óxidos e oxidróxidos de ferro) nas profundidades onde havia uma maior concentração de raízes vivas. Por outro lado, na parcela sem vegetação a distribuição das formas de ferro no perfil se apresenta homogênea em todas as profundidades analisadas (Figura 28).

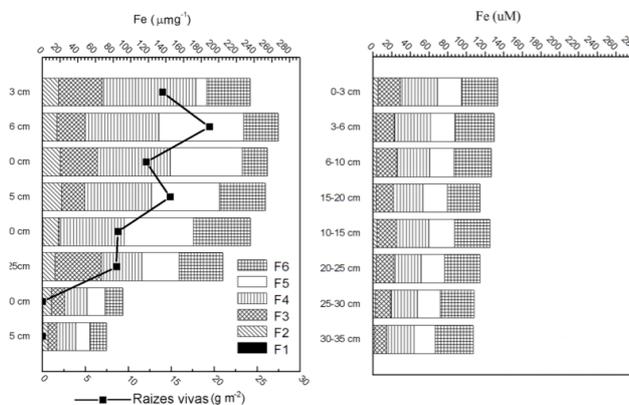


FIGURA 28. Extração sequencial das formas de ferro em solos de mangue e em sedimentos não-vegetados.

Variabilidade espacial das propriedades químicas dos solos de mangue

Vários autores têm demonstrado que existe uma forte correlação entre o crescimento das plantas de mangue e as propriedades do solo onde estas se desenvolvem, apresentando inclusive um certo zoneamento das espécies de acordo com as características físico-químicas do solo (Saintilan, 1998; Sherman et al., 1998; Ukpong, 1994).

Entre os fatores que mais parecem influenciar o crescimento dos mangues estão a frequência e duração das marés (que determinam o tempo de inundação), salinidade da água, potencial redox, entre outros.

Em um estudo que está sendo realizado na Ilha de Pai Matos (Cananéia, São Paulo) obtivemos resultados que demonstram algumas das interações entre as propriedades físico-químicas dos solos de mangue e a distribuição das espécies.

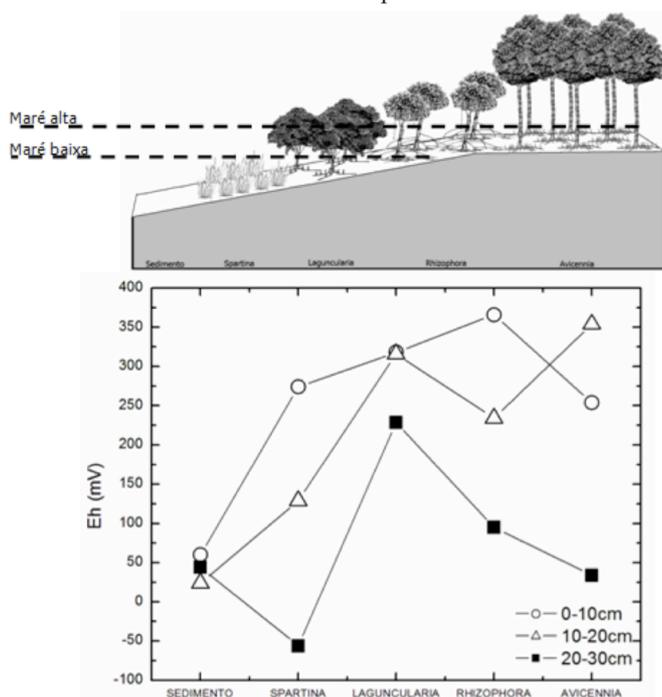


FIGURA 28. Extração seqüencial das formas de ferro em solos de mangue e em sedimentos não-vegetados.

Variabilidade espacial das propriedades químicas dos solos de mangue

Vários autores têm demonstrado que existe uma forte correlação entre o crescimento das plantas de mangue e as propriedades do solo onde estas se desenvolvem, apresentando inclusive um certo zoneamento das espécies de acordo com as características físico-químicas do solo (Saintilan, 1998; Sherman et al., 1998; Ukpong, 1994).

Entre os fatores que mais parecem influenciar o crescimento dos mangues estão a frequência e duração das marés (que determinam o tempo de inundação), salinidade da água, potencial redox, entre outros.

Em um estudo que está sendo realizado na Ilha de Pai Matos (Cananéia, São Paulo) obtivemos resultados que demonstram algumas das interações entre as propriedades físico-químicas dos solos de mangue e a distribuição das espécies.

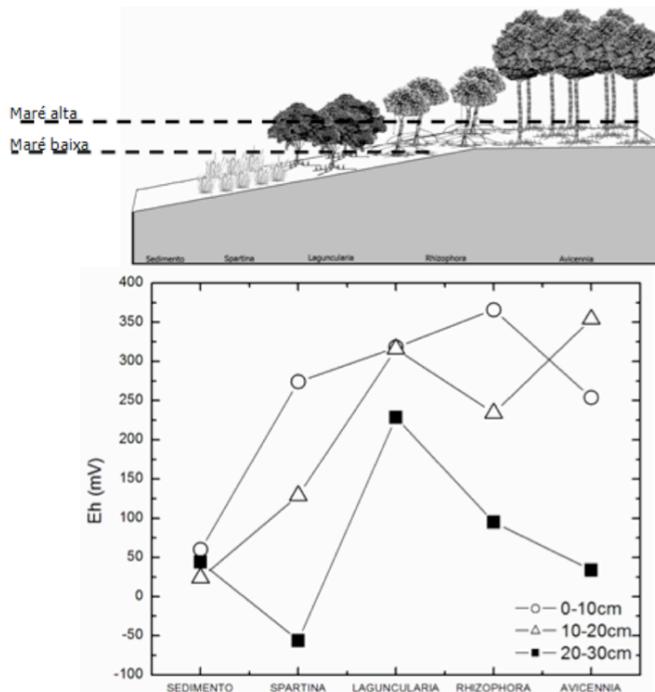


FIGURA 29. Comportamento dos valores de potencial redox em compartimentos de vegetação distintos na Ilha de Pai Matos (Cananéia, SP).

Na Figura 29 observamos que a distribuição dos valores de Eh nos diferentes compartimentos da Ilha é regida pela posição topográfica de cada parcela e pela frequência de inundação a que estão submetidas. Assim, as parcelas que sofrem uma menor ação da maré apresentam maiores valores e amplitudes de Eh enquanto as mais frequentemente inundadas apresentam os menores valores e amplitudes.

Os valores de pH, por sua vez, mostram coerência com relação aos dados de Eh uma vez que os menores valores são encontrados no interior da Ilha (porção mais elevada e submetida a uma menor frequência de inundação) e os maiores nas parcelas mais externas (sob influência constante das marés) (Figura 30).

Também em concordância com os dados de Eh e pH, os valores de Fe^{2+} e HS^- na água intersticial mostram que no interior da ilha (especialmente nas camadas superficiais) predo-

minam as condições oxidantes enquanto na porção mais afetada pelas marés o ambiente é mais anóxico permitindo o aparecimento de maiores valores de HS (Figura 31).

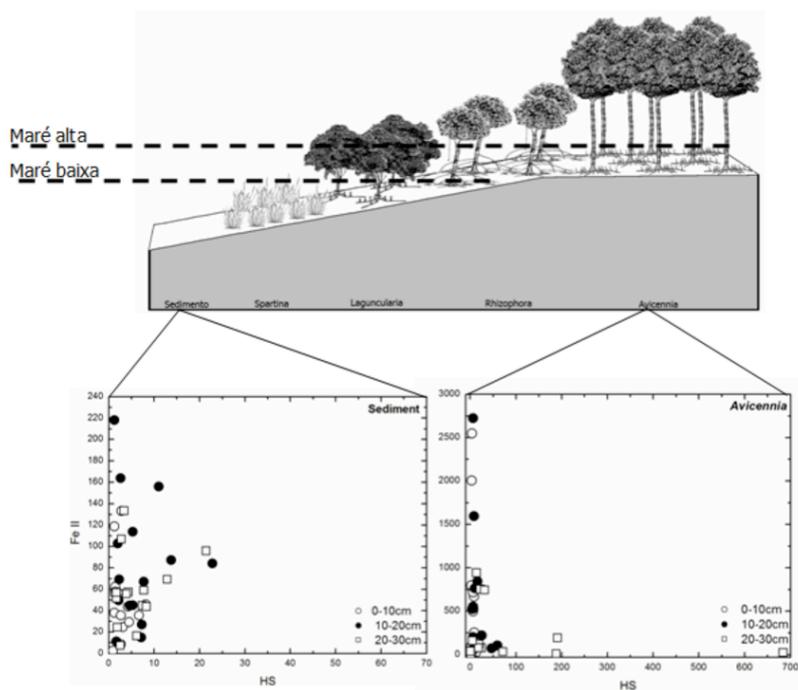


FIGURA 31. Diagrama com as concentrações de Fe²⁺ e sulfetos na água intersticial em compartimentos de posições distintas no manguezal estudado.

Impactos Antrópicos em solos de mangue

Em geral, a relação entre o Homem e os Manguezais caracteriza-se por um preocupante desconhecimento sobre a importância universal destes ecossistemas. Nos últimos 500 anos esta floresta justamarina começou a ser sistematicamente eliminada em função de sua localização geográfica, altamente propícia à instalação de portos e à expansão das cidades nestas prolíferas áreas. Este quadro perdurou, em linhas gerais, até fins da década de 60 quando os manguezais obtiveram científica e academicamente, um definitivo reconhecimento da importância de seu valor econômico-ambiental (Moscatelli, 1999).

Entretanto, atualmente os manguezais continuam sendo um dos maiores alvos de agressão ambiental no Brasil, seja pela poluição, ou por sua eliminação, o que vem ocor-

rendo em larga escala, devido ao desenvolvimento da maricultura nessas áreas, sendo essa atividade um dos exemplos mais expressivos do uso agrícola desses solos principalmente no nordeste brasileiro.

As regiões costeiras sempre atraíram a implantação de empreendimentos econômicos devido às vantagens e facilidades que oferecem para a instalação de portos e atividades turísticas. Localizada no centro do litoral paulista, a Baixada Santista, se encontra inserida em um dos maiores núcleos de crescimento industrial e urbano do país, o que constitui grande ameaça a suas áreas estuarinas (Silva et al., 1994).

O processo de desenvolvimento econômico nas cidades litorâneas avança juntamente com a ocupação desgovernada de seus ecossistemas e o uso incorreto do solo nessas regiões. Por englobarem ambientes de grande fragilidade, as zonas costeiras acabam por muitas vezes, sendo parcial ou permanentemente de-

gradadas em função deste mecanismo de crescimento (Machado, 1994).

No caso específico dos manguezais, os impactos antrópicos mais incidentes são: obras de canalização, construção de barragens, aterros, salinas, derramamentos de petróleo, descarga de efluentes, descarte de resíduos sólidos e implantação de empreendimentos extrativistas (piscicultura, silvicultura). O despejo de efluentes líquidos promove perturbações estruturais de valor ecológico além da perda de valores sociais e econômicos, porém com adoção de medidas corretivas (remoção e tratamento dos resíduos) apresentam possibilidade de recuperação (Schaeffer-Novelli & Cintrón, 1994).

Moscatelli (2000) ressalta que apesar de tão evidente importância sócio-econômica e ambiental dos manguezais e da legislação florestal que, desde 1965 oferece proteção a estes ecossistemas, o processo de degradação destes ambientes continua chegando a fazer parte da história de toda a zona costeira brasileira.

Na baía de Guaratiba (RJ), Menezes (2000) descreve um cenário bastante comum nas zonas costeiras do Brasil. De acordo com o autor, as áreas de mangue da região têm sido degradadas desde a época da colonização devido à extração do tanino usado para tratar o couro. Na atualidade, entretanto, a principal atividade antrópica de impacto nos manguezais é a poluição química causada, principalmente, por metais pesados.

Tensores de origem antrópica, como a contaminação devida ao lançamento de efluentes domésticos sem tratamentos, geram impactos, principalmente, sobre a paisagem, coluna d'água, hidrodinâmica estuarina, biota, produtores primários, solo e comunidade local. Como resultado, tem-se prejuízos à qualidade da água e dos solos do estuário além de um comprometimento da produtividade do sistema estuarino, da biodiversidade, do ciclo de vida de espécies aquáticas, dos valores estéticos e paisagísticos, da recreação e turismo (Filde-

man, 1999).

Disposição de esgoto em manguezais

De acordo com Cintrón & Schaeffer-Novelli (1983), o despejo de esgoto (tratado ou não) em manguezais é problema comum na maioria dos centros urbanos litorâneos. Poucos estudos têm sido feitos a cerca dos efeitos da disposição destes efluentes nesses ecossistemas. Apesar de parecer não apresentar efeitos deletérios quando bem diluído, os autores citam o exemplo em que o esgoto causou mortandade de árvores em uma floresta de manguezal localizada a sudoeste de Porto Rico.

Na Baixada Santista, de acordo com Afonso (1999), a urbanização desenfreada e a falta de planejamento para a destinação de esgoto doméstico somada aos despejos industriais de Cubatão e às atividades do porto de Santos fazem desta região a mais poluída da zona costeira paulista. Este quadro se agrava ainda mais pela presença de grande número de favelas, próximas a rios e estuários, que descartam seus resíduos diretamente nos corpos d'água. O autor destaca que a questão do esgoto na região já chega a níveis alarmantes contaminando a fauna, a flora e as águas além de causar:

- Contaminação por organismos patogênicos, causadores de doenças;
- Desoxigenação das águas devido à decomposição da matéria orgânica;
- Eutrofização;
- Contaminação das águas pela adição de substâncias químicas tóxicas, cancerígenas e causadoras de doenças;
- Contaminação física da água com conseqüente depreciação de sua qualidade devido ao aumento da turbidez e a alterações de temperatura e cor.

Uma das questões mais problemáticas ligada à disposição de esgoto doméstico em manguezais é a da saúde pública. Com a descarga desses efluentes sem tratamento, os riscos de contaminação por doenças parasitárias

e infecciosas e ainda por metais pesados se tornam muito grandes.

De acordo com Toze (1997), a maioria dos microrganismos patogênicos presentes nos efluentes é de origem entérica, ou seja, chegam ao ambiente através das fezes e contaminam via ingestão. Podem ser bactérias, vírus, protozoários e helmintos, sendo as bactérias o grupo mais comum encontrado nos esgotos.

McGregor (1975), em um trabalho sobre poluição causada por esgoto em estuários, cita os principais patógenos bacterianos e descreve as doenças ocasionadas pelos mesmos, como segue:

- *Salmonella typhi*: bactéria causadora da febre tifóide; infecção que apresenta um índice de mortalidade de 10% se não tratada e de 2-3% se diagnosticada e tratada a tempo.

- *Vibrio cholera*: bactéria responsável pela cólera; doença severa com um percentual de mortalidade de 50% sem tratamento.

- *Salmonella typhimurium*: provoca infecção gastrointestinal pouco severa sendo fatal apenas em crianças e idosos.

- *Spirochaeta leptospira*: doença endêmica em ratos e outros animais, causadora de febre severa em pessoas com um percentual de mortalidade de 20% em idosos.

Uma vez que não só a água, mas também os solos dos manguezais impactados por esgoto

doméstico podem estar contaminados com organismos patogênicos, e que devido ao fato do manguezal ser considerado por vezes como tolerante à descarga de matéria orgânica, realizamos alguns estudos de rastreabilidade do esgoto doméstico nos solos do manguezal do rio Crumahu na Baixada Santista (SP). Este manguezal recebe a descarga de esgoto doméstico de 30.000 famílias de um bairro popular do Guarujá (SP) (Figura 32).

Três métodos foram utilizados: medidas de oxigênio dissolvido na água, determinação de $\delta^{15}\text{N}$ e determinação de esteróis, estes dois últimos utilizados como traçadores da presença de esgoto doméstico. O Método do $\delta^{15}\text{N}$, baseia-se na determinação da relação $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ que segundo, Coakley *et al.* (1992), observando a relação entre estes dois isótopos é possível verificar o enriquecimento em ^{15}N , característico dos esgotos influenciados por excrementos animais. O método do coprostanol, baseia-se em que este esterol é produzido no intestino dos animais e sua configuração molecular depende da flora intestinal de cada espécie, como mostra a Figura 34. Como outros esteróis são de ocorrência natural como o colesterol nos sedimentos marinhos, alguns autores recomendam a utilização da razão coprostanol/colesterol (Firme, 2003).



FIGURA 32. Rio Crumahu (Guarujá SP). Os pontos em branco são os locais de amostragem de solos de mangue que recebem a descarga de esgoto doméstico de mais de 30.000 famílias dos bairros Morrinhos e Vila Zilda.

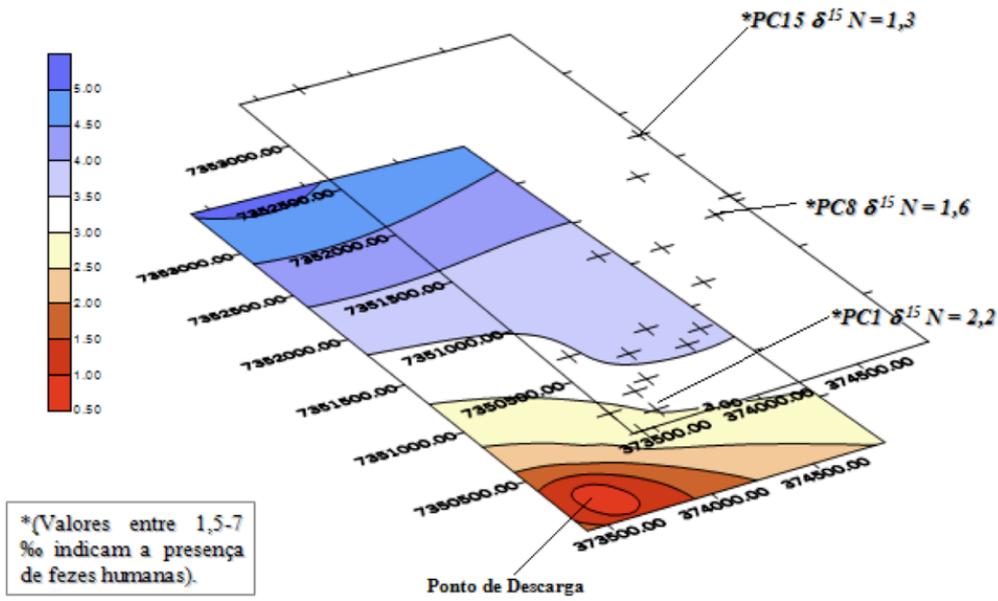


FIGURA 33: Oxigênio dissolvido (mg/L) e $\delta^{15}N$ na água intersticial da camada superficial dos solos de mangue do Rio Crumahú. Os dados da oximetria coincidem com o traçador $\delta^{15}N$, indicando que a maior parte do manguezal está contaminado por esgoto doméstico.

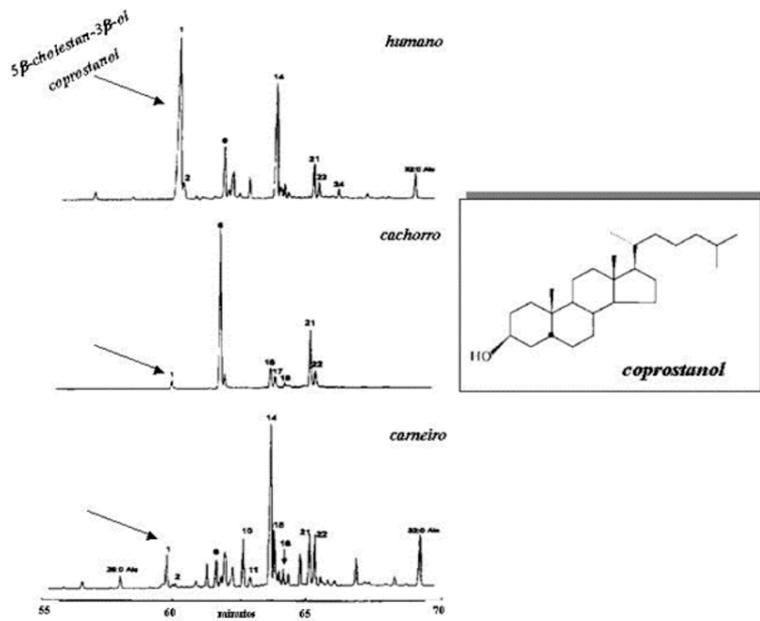


FIGURA 34. Cromatogramas de esteróis produzidos no intestino de animais. Note-se que o pico característico do coprostanol é diferente para cada espécie. Esta técnica de rastreamento tem sido muito utilizada para verificar contaminação por esgotos urbanos em sedimentos do mar.

TABELA 2. Dados da relação coprostanol/colesterol das amostras ao longo do rio Crumahú (PC1 início do rio próximo à descarga de esgoto, PC15 ponto mais distante). Valores acima de 0,2 dessa relação indicam a contaminação por esgoto doméstico. (Firme, 2003).

	PC1	PC2	T1P1	PC5	PC8	T3PC1	PC13	PC15	BOIA
Coprostanol/ colesterol	0,54	0,42	0,78	0,00	0,19	0,00	0,05	0,06	0,08

Os resultados da análise cromatográfica para determinação dos esteróis indicaram que a contaminação do solo até 20 cm de profundidade se deu em menor proporção a partir da metade do rio Crumahú e confirmaram a contaminação severa visualizada nos outros dois métodos de avaliação, inclusive até 50 cm de profundidade nos solos mais próximos à descarga do esgoto (Firme, 2003). Os resultados obtidos até aqui apontam para a aplicabilidade, em solos de manguezais, de duas técnicas até agora utilizadas para sedimentos de fundo de rio ou de mar, δ 15 N e determinação de esteróis, com o objetivo de verificar a contaminação por esgoto doméstico.

Contaminação de manguezais por metais pesados

Os manguezais têm sido utilizados, por muito tempo e em muitos países, como uma alternativa de baixo custo para o descarte e o tratamento de esgotos, domésticos e industriais, devido sua capacidade de reter metais pesados (Clark *et al.*, 1998; Clark, 1998) e de reaproveitar nutrientes destes resíduos (Ye *et al.*, 2001).

Nos países tropicais em desenvolvimento a instalação de pólos industriais nas proximidades de estuários é uma constante pois há sempre um porto por onde escoar a produção. Essa proximidade, e as precárias condições de destino do lixo industrial, levaram a uma série de problemas de contaminação nos manguezais da Baixada Santista e da Bahia de Guanabara. Lacerda *et al.* (2002) sintetizam diversos trabalhos feitos em manguezais próximos a zonas industriais no Brasil e na Austrália mos-

trando que os solos de manguezais podem funcionar como importantes barreiras biogeoquímicas para a contaminação por metais pesados e que essa é mais uma das vantagens de se manter o mangue preservado. Sobre manguezais, a maior parte da concentração de metais pesados se acumula na rizosfera em formas pouco biodisponíveis, associadas principalmente às formas piríticas (Machado *et al.* 2000), minimizando o efeito da poluição. Zn, Hg e Cu são os metais que com maior frequência aparecem contaminando os solos desses ecossistemas.

Segundo Yim & Tam (1999), os metais pesados, por não serem biologicamente degradados, se acumulam no tecido vegetal prejudicando o crescimento das plantas, afetando a fauna microbiana do solo e também a sua fertilidade. Os autores consideram que os efeitos dos metais pesados em plantas de mangue não são bem conhecidos e que sua capacidade de tolerar metais pesados não está clara ainda, daí a necessidade de mais estudos antes do emprego destes ecossistemas como destino final de efluentes poluidores.

A concentração natural de metais pesados no ambiente de manguezal também ocorre e depende do tipo, tempo de deposição e origem dos sedimentos (Lacerda *et al.*, 1981). Entretanto, em áreas urbanizadas, a influência antropogênica tem favorecido o acúmulo de diferentes metais. Problemas sérios de poluição ambiental, devido à descarga de resíduos industriais e o esgoto das cidades em áreas costeiras, têm sido amplamente relatados (Birch *et al.*, 1996; Lacerda *et al.*, 1993; Silva *et al.*, 1990; Tam & Wong, 1994; Tam & Wong, 1995;

Tam & Wong, 1996; Tam & Wong, 1997; Tam & Wong, 1998; Tam & Wong, 1999). Os poluentes industriais e urbanos apresentam-se correlacionados com o incremento no conteúdo de metais pesados nas sementes, na morte de plantas e na redução da biodiversidade dos manguezais.

Menezes (2000) destaca que estes elementos, apesar do poder de retenção do mangue, acabam atingindo a fauna e, conseqüentemente, a cadeia alimentar tornando-se um risco também para as populações humanas.

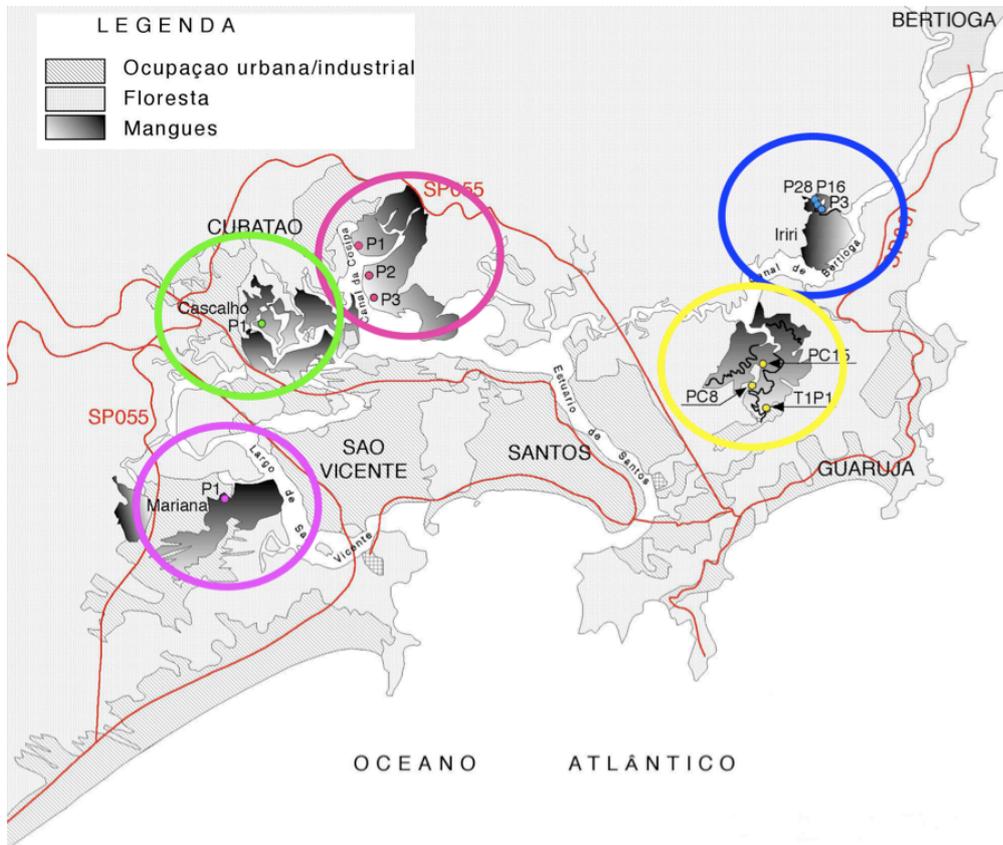


FIGURA 34: Manguezais da Baixada Santista (SP) estudados para verificação do teor de metais pesados nos solos. (Silva, 2005).

Os resultados obtidos em pesquisas recentes desenvolvidas em manguezais da Baixada Santista e no litoral sul de São Paulo (Ilha do Cardoso), indicam alguns aspectos de grande interesse quanto ao conteúdo total de metais traço nos solos, assim como em relação ao comportamento geoquímico destes elementos neste tipo de ambientes.

Após estudar um total de 10 elementos

traço, é necessário realçar que, apesar do manguezal ser considerado freqüentemente como um espaço normalmente contaminado devido à presença de pólos industriais em seu entorno, e de alguns relatórios da agência ambiental de São Paulo (CETESB) terem indicado que os manguezais da Baixada Santista, e em particular sua fauna e flora, possam apresentar níveis elevados de metais pesados, fato este que foi

um dos motivos de nossas pesquisas, nos solos de mangue estudados o conteúdo total de metais traço (incluído o Hg) esteve, em linhas gerais, dentro dos limites aceitáveis considerando as diferentes normativas internacionais. Somente a concentração de Hg na parte alta do rio Casqueiro (Cubatão-SP) pôde ser considerada como muito elevada ($\text{Hg} \sim 5 \text{ mg Kg}^{-1}$). Porém, um aspecto mais interessante do que conhecer o conteúdo total de um determinado elemento no solo é identificar seu comportamento geoquímico, isto é, conhecer qual fração geoquímica do solo controla a mobilidade ou mesmo a biodisponibilidade do referido elemento, o que pode ser visualizado a partir de extrações seqüenciais (tabela 3). Os resultados obtidos nesses solos indicam um comportamento muito diferente entre os metais considerados. Enquanto ferro e cobre aparecem predominantemente associados à pirita, o Ni, Cr e Zn, estão principalmente associados aos oxihidróxidos de Fe. O Hg parece estar associado às primeiras frações (troçável e carbonatos, dados não mostrados) e em menor proporção à fração pirítica. Para este elemento em particular é possível que a extração seqüencial empregada não tenha sido a mais indicada já que não contempla a extração de formas como Hg elementar, que, de acordo com as condições de Eh-pH podem estar presentes neste tipo de solos (Silva, 2005). No entanto, como nas zonas contaminadas por Hg, este elemento aparece fundamentalmente nas frações geoquimicamente mais ativas, isto poderia favorecer sua incorporação na cadeia trófica. Neste sentido, os nossos resultados evidenciam que, nos locais afetados por Hg, na baixada santista, o somatório das 6 frações pode chegar a representar até 90% do Hg total, oscilando na maior parte dos casos entre 50 e 80%, enquanto que nas

zonas sem poluição aparente, como os manguezais do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, apenas representa o 30% do total.

No momento, para melhor entender estes fatos, um detalhamento sobre o comportamento geoquímico do Hg está sendo realizado nos solos de mangue da Baixada Santista estudados por Silva (2005).

TABELA 3.-Concentração do Fe($\mu\text{mol g}^{-1}$) e elementos traço (nmol g⁻¹) nas diferentes frações consideradas. LD= menor do que o limite de detecção.

F1, fração trocável, F2: fração associada aos carbonatos, F3: fração associada aos oxihidróxidos de ferro amorfos, F4: fração de metal associada aos oxihidróxidos de Fe de baixa cristalinidade (tipo lepidocrocita), F5: oxihidróxidos de Fe cristalinos e F6: metais presentes como sulfeto ou associados à pirita.

	Media±sd	Mínimo	Máximo
Fe			
F1	0.23±0.65	<LD	6.33
F2	0.65±0.87	<LD	3.76
F3	13.6±10.5	0.64	49.60
F4	24.72±15.9	6.92	91.50
F5	16.11±7.47	1.21	106.1
<i>F6</i>	108.8±52.1	2.71	733.4
Cu			
F1	22.38±24.4	<LD	116.0
F2	17.79±16.2	<LD	71.81
F3	21.32±26.3	0.30	115.70
F4	20.29±22.8	0.05	88.93
F5	23.26±22.5	0.02	109.7
F6	82.10±67.5	3.39	289.0
Ni			
F1	12,18±14,9	<LD	65,10
F2	17,38±13,1	<LD	152,2
F3	18,56±13,8	0,10	74,66
F4	23,05±24,3	0,16	123,1
F5	37,37±25,0	0,58	99,80
F6	31,88±42,3	0,08	190,5
Cr			
F1	3.30±3.30	<LD	17.47
F2	52.30±51.30	<LD	257.2
F3	15.43±7.86	<LD	36.12
F4	23.86±11.7	7.64	71.08
F5	66.48±53.1	3.89	225.8
<i>F6</i>	57.7±65.35	0.85	262.0
Zn			
F1	73,15±164	0,65	1300
F2	63,45±112	18,30	699,1
F3	148,6±121	18,30	698,7
F4	237,11±285	24,22	1475
F5	94,11±113	0,68	424,6
F6	60,16±73,3	3,48	423,5

Derramamentos de petróleo em manguezais

Devido à proximidade dos estuários a grandes portos e a conseqüente instalação de pólos petroquímicos nessas regiões, acidentes com derramamento de petróleo atingindo os manguezais são freqüentes, tendo como primeiro efeito a morte de muitas espécies vegetais e animais que habitam esse ecossistema.

Essa mortalidade de árvores em manguezais devida à contaminação por petróleo tem sido freqüentemente atribuída ao efeito físico de bloqueio das superfícies de trocas de gases por recobrimento pelo óleo. No entanto, devido à natureza cerosa da superfície das folhas e propágulos de espécies de mangue, esse efeito pode ser minimizado. A mortalidade então parece estar ligada à toxicidade dos compostos do óleo que afetam o metabolismo das plantas. Como o óleo pode permanecer no solo, impregnando raízes e pneumatóforos, a toxicidade pode perdurar e seus efeitos serem sentidos por dezenas de anos. (Burns *et al.* 1993; Lacerda *et al.* 2002). Desfoliação e posterior morte das plantas é o primeiro efeito desses desastres, seguido por uma regeneração lenta e alterada em comparação à situação original.

O impacto pela contaminação por petróleo em manguezais é potencialmente mais prejudicial do que em outros ecossistemas. Os hidrocarbonetos derivados do petróleo podem permanecer no solo de mangue por várias décadas. Da interação de vários fatores pode depender a velocidade e o grau de recuperação de um manguezal impactado por derrame de petróleo (SOARES, 2003): a) tipo e quantidade de óleo derramado; b) características geomorfológicas; c) freqüência de inundação pelas marés; d) energia das marés; d) características do sedimento; e) espécie vegetal; f) atividade da macrofauna bentônica; g) atividade microbiana.

A maior dificuldade para a degradação do petróleo em manguezais é a condição de anoxia

a despeito das temperaturas quentes do ambiente tropical (BURNS *et al.*, 1993). A incorporação do petróleo derramado em profundidade no sedimento de mangue é facilitada pela ação escavadora de caranguejos que constroem tocas efêmeras que podem atingir 60 cm de profundidade. Após o abandono da toca a ressedimentação conseqüente poderia aprisionar o petróleo a essas profundidades (DUKE *et al.* 1999; SOARES, 2003).

Em outubro de 1983, uma explosão de pedreira lançou um bloco de 20 toneladas encima de um oleoduto da PETROBRÁS causando um derramamento de 2,5 milhões de litros de petróleo cru em um manguezal na Baixada Santista (Bertioga, SP) Após uma semana do derramamento, quando havia grande quantidade de óleo na água, a ocorrência de maré de sizígia aliada a fortes ventos, levou o óleo para dentro dos estuários, praias, restingas e manguezais elevando para cerca de 100 Km² a extensão da contaminação. As proporções de petróleo derramado e a extensão atingida caracterizaram esse evento como um dos maiores já verificados no litoral do Brasil, e o maior problema resultante foi o de quantificar o tempo necessário para recuperação da área (Schaeffer-Novelli, 1986).

Por ser um dos problemas freqüentes de contaminação de manguezais, iniciamos em 2000 um trabalho de verificação da ocorrência de petróleo, não só na superfície como em profundidade nos solos daquele manguezal, trabalhando numa transeção que iniciava no local de chegada do derramamento do petróleo, no contato mangue-encosta, até o canal do rio mais próximo (rio Iiriri).

Após 22 anos, o petróleo ainda é evidente na área mais próxima à encosta, sendo percebido visual e olfativamente. Já no compartimento do mangue mais distante da encosta e próximo do rio, local intensamente lavado pelas marés, somente encontramos vestígios na superfície do solo, do petróleo derramado, o qual recobriu todo o manguezal do Rio Iiriri.

Em todos os pontos de amostragem, em amostras até 80 cm de profundidade, procedeu-se à análise cromatográfica dos hidrocarbonetos do petróleo (Figura 38) que indicou a ausência de petróleo abaixo da profundidade de 30 cm em todo o manguezal. A evidente atividade escavatória de caranguejos no manguezal com posterior abandono das tocas (que atingem 60 cm de profundidade) na área não foi capaz de incorporar o petróleo além dos 30 cm de profundidade mesmo nas áreas onde o óleo ainda está presente e é visível na superfície. A dissolução com posterior lavagem pela maré parece ter

sido o processo mais importante de retirada do petróleo no manguezal. A posição topográfica em que o petróleo derramado se encontra no manguezal foi o condicionante mais importante para determinar sua permanência nos diferentes compartimentos.

Após estes resultados e com uma nova amostragem em maio de 2005, estudos mais detalhados de cromatografia, incluindo a comparação com uma amostra do petróleo original para verificar o grau de degradação do petróleo no solo de mangue, estão sendo conduzidos.

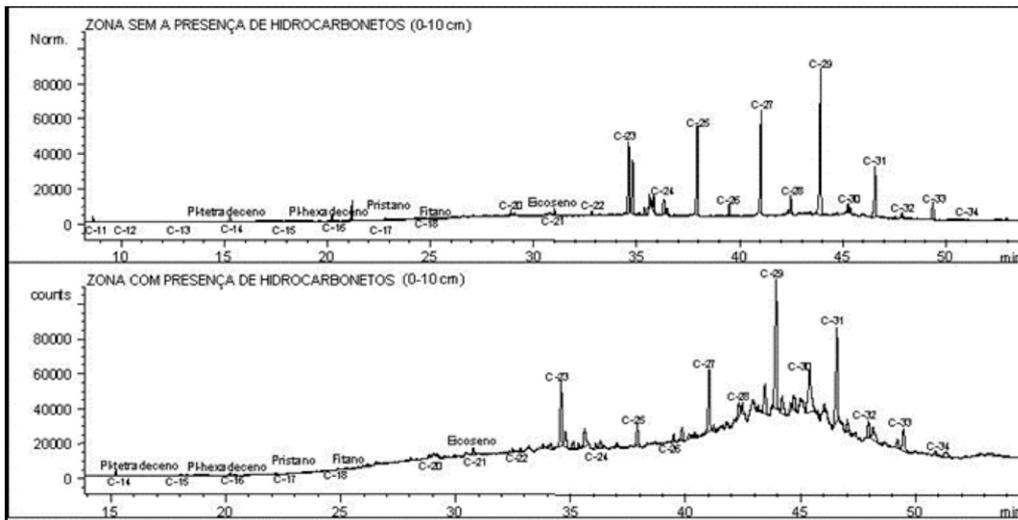


FIGURA 36. Cromatogramas de amostras de solo (coletadas em 2000) do manguezal do rio Iiriri (Bertioga, SP) afetado por um derramamento de petróleo em 1983. A presença de uma elevação da linha de base do cromatograma na figura inferior, indica a presença do envelope complexo mal resolvido (ECMR) característico do petróleo e que não ocorre naturalmente em solos ou sedimentos. O ECMR é uma mistura de compostos ramificados e cíclicos, presentes no petróleo e que não podem ser separados pela cromatografia

Impacto da carcinocultura nos manguezais

Atividade econômica importante nas regiões tropicais que possuem manguezais e portanto condições ambientais ideais para a vida e reprodução dos camarões, a carcinocultura ou cultivo de camarões, expandiu-se de forma acelerada nos últimos 40 anos. Iniciou na Ásia e se propagou pela faixa intertropical do planeta,

com sérios problemas agregados a ela, sendo o primeiro a substituição do bosque de mangue pelos tanques de reprodução e engorda. Há quem estime que metade dos manguezais da região tropical já foram substituídos por esta atividade.



FIGURA 37. Canal aberto para início de exploração pela carcinocultura. A partir daqui os solos de mangue são drenados. Por serem solos tiomórficos, inicia-se a oxidação da pirita com conseqüente queda do pH.



FIGURA 38. Desmatamento e sistematização de manguezal e apicum no Estado do Ceará para instalação de fazenda camaroneira. Foto do Prof. Antonio Meireles (UFC).

A tabela 4 resume os impactos causados pela instalação de fazendas de carcinocultura em antigos bosques de mangue.

A GAA (Global Aquaculture Alliance) preparou códigos de práticas para o cultivo responsável de camarão. O código foi criado para fomentar maior conscientização ambiental da indústria de camaroneira para assegurar a proteção dos bosques de mangue e os impactos potencialmente adversos da aquicultura costeira. Prevê, dentre outros objetivos, o não desenvolvimento de fazendas camaroneiras em áreas de manguezal, recuperação de bosques de mangue degradados por esta atividade, monitoramento

dos impactos e medidas mitigatórias para se evitar danos ao ecossistema com o lançamento de dejetos dos tanques aos estuários eliminados de forma irresponsável (Boyd, 1998). As áreas de manguezal são apontadas por esta organização como as piores para a construção de tanques de engorda, devido ao pH ácido com alto grau de matéria orgânica e instáveis, pois estes terrenos são dificilmente drenados e secados adequadamente e porque os manguezais e outras áreas úmidas costeiras não deveriam ser destruídos pelo seu valor ecológico e seu papel na proteção da zona costeira contra tormentas e ondas (Boyd, op. cit.).

TABELA 4. Impactos causados nos bosques de mangue pela instalação de tanques para criação de camarão (carcinocultura). Fonte: Coelho Jr. & Schaeffer-Novelli (2005).

Tipo de impacto	Causa	Efeito
1. Construção de canais	1.1.– Canalização e desvios de fluxo de água.	1.1.– Redução no aporte de nutrientes, acúmulo de substâncias tóxicas no sedimento.
2. Construção de barreiras, taludes e/ou tanques	2.1.– Acúmulo de água no sedimento; 2.2.– Impedimento da entrada das marés.	2.1.– Impedimento de trocas gasosas e hipersalinidade; 2.2.– Evaporação da água do sedimento e aumento da temperatura e da salinidade.
3. Sedimentação por erosão do talude e descarga de efluente	3.1.– Sufocamento das raízes respiratórias.	3.1.– Impedimento das trocas gasosas.
4. Contaminação por patógenos, hormônios, carrapaticidas, compostos químicos, resíduos alimentares e fertilizantes lançados por efluentes dos tanques	4.1.– Aumento no aporte de nutrientes; 4.2.– Acúmulo de matéria orgânica e de contaminantes no solo; 4.3. Contaminação de peixes e mariscos por agentes patogênicos e químicos; 4.4. Perda da qualidade das águas estuarinas; 4.5. – Contaminação por substâncias químicas.	4.1– Efeito positivo – incremento no crescimento do mangue e efeito negativo – excesso causa a mortandade das espécies vegetais e eutrofização da coluna d'água; 4.2.– Efeitos danosos na fauna e flora bêntica; 4.3.– Mortandade de espécies de importância econômica; 4.4.– Quebra da cadeia trófica; 4.5.– Morte das espécies da fauna e flora dos estuários, manguezais e ecossistemas adjacentes.
5. Introdução de espécies exóticas	5.1.– Competição, destruição de habitats, predação.	5.1– Ainda há poucos indícios e estudos que relatam tais alterações.

Os efeitos da carcinocultura sobre a qualidade dos solos de antigos manguezais são ainda pouco conhecidos no Brasil. Entendendo que os manguezais devem ser preservados e não utilizados para aquicultura, estudos biogeo-

químicos e microbiológicos do fundo dos tanques são necessários para dimensionar o efeito dessa prática. Tais estudos servem também como base para a reabilitação ou reflorestamento dessas áreas.



Área de produção de uma empresa do Nordeste

FIGURA 39. Fazenda camaroneira instalada sobre os sedimentos arenosos holocênicos (restinga) sem remoção de manguezal, diminuindo sensivelmente o impacto ambiental desta atividade.

Considerações finais.

A importância ecológica e sócio-econômica (principalmente para as populações ribeirinhas) dos manguezais têm sido manifesta por numerosos cientistas, ecologistas, ONGs e até mesmo por pessoas comuns e políticos. No âmbito nacional e internacional há grupos de pesquisa, reuniões científicas e publicações, todos específicos sobre manguezais. Embora haja iniciativas por parte dos pesquisadores da Ciência do Solo no mundo científico em estudar os solos de mangue, no Brasil, escassos são os estudos de nossa comunidade, reunida neste Congresso de Ciência do Solo, nesse sentido.

Nossos químicos, físicos e biólogos de solos juntamente com nossos pedólogos, que predominantemente se dedicam a estudar o solo sob a ótica das relações solo-planta em áreas agrícolas, detêm formação e capacidade analítica de grande aplicação ao estudo dos solos de mangue e assim poderão complementar os estudos intensivos que já existem de ecólogos, biólogos, biogeoquímicos, oceanógrafos, geólogos e geógrafos, dentre outros, do ecossistema manguezal.

De fato, há muito ainda por conhecer em relação ao funcionamento do manguezal e o entendimento do papel do solo nesse ecossistema. Neste sentido, o trabalho dos pesquisadores da

ciência do solo pode contribuir de forma significativa. No nosso entendimento, alguns dos temas que vem sendo pesquisados em solos de mangue devem ser abordados com maior precisão e intensidade:

- O papel e evolução da matéria orgânica nestes tipos de ambientes e sua relação com os processos pedogenéticos.

- Processos de neoformação e transformação de minerais de argila.

- Comportamento, estabilidade e transformações dos óxidos de Fe.

- Biogeoquímica de nutrientes (N, P) e componentes tóxicos (metais traço, xenobióticos...).

- Comportamento de contaminantes orgânicos.

- Impactos da carcinocultura nos solos de mangue.

REFERENCIAS

- Afonso, C.M. 1999. Uso e ocupação do solo na zona costeira do estado de São Paulo: uma análise ambiental. São Paulo: Annablume; *FAPESP*, 180p.
- Aller, R.C. 1985. Yingt, J.Y. Effects of the marine deposit-feeders heteromastus filiformis (Polychaeta), Macoma balthica (Bivalvia), and Telling texana (Bivalvia) on averaged sedimentary solute transport, reactions rates, and microbial distribution. *J. Mar. Res.* v. 43, 615-645.
- Alvarez-León, R. 1993. Mangrove ecosystems of Colombia. In: Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in latin America and Africa regions. International society of mangrove ecosystems, Okinawa, p.75-115.
- Amorosi, A. 1997. Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sedimentary Geology*, 109, 135-153,
- Birch, G.F.; Evenden, D. 1996. Teutsch, M.E. Dominance of point source in heavy metal distributions in sediments of a major Sydney estuary (Australia). *Environmental Geology*, 28, 169-174.
- Boyd, C. 1998. Guiding principles for responsible aquaculture – codes of practice. GAA – Global Aquaculture Alliance. 1-36.
- Breemen, N.V. 1998. Buurman, P. Soil formation. Dordrecht: *Kluwer*, 376p.
- Bourrié, G. et al. (1999): Iron control by equilibria between hydroxy-green rusts and solutions in hydromorphic soils. *Geochim. Cosmochim. Acta* 63: 3417-3427.
- Caçador, I.; Vale, C. 2000. Catarino, F. Seasonal variation of Zn, Pb, Cu and Cd concentrations in root-sediment system of *Spartina maritima* and *Halimione portulacoides* from Tagus estuary salt marshes. *Marine Environmental Research*, 49, 279-290,
- Cintrón, G.; Schaeffer-Novelli, Y. 1983. Introducción a la ecología del manglar. Montevideo: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe, 109p.
- Clark, M.W., 1998. Management implications of metal transfer pathways from a refuse tip to mangrove sediments. *The Science of Total Environment* 222, 17-34.
- Clark M.W., McConchie D., Lewis, D.W., Saenger, P. 1998. Redox stratification and heavy metal partitioning in *Avicennia*-dominated mangrove sediments: a geochemical model. *Chemical Geology* 149, 147-171.
- Coakley J.P., Carey, J.H. 1992. Eadie B. J. Specific organic compounds as tracers of contaminated fine sediments dispersal in Lake Ontário near Toronto. *Hydrobiologia*, 235, 85-96.
- Coelho Junior, C. & Schaeffer-Novelli, Y.. Considerações teóricas e práticas sobre o impacto da carcinocultura nos ecossistemas costeiros brasileiros, com ênfase no

- ecossistema manguezal. Monografia do Laboratório BIOMA – Mini-centro de ensino e de informação sobre zonas úmidas costeiras, com ênfase no ecossistema manguezal – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Maio de 2005.
- Comissão Nacional Independente Sobre Os Oceanos. O Brasil e o mar: relatório dos tomadores de decisão do país. Rio de Janeiro: *CNIO*, 1998. 408p.
- Cornell, R.M. & Schwertman, U. (1996): The iron oxides. Structure, properties, reactions, occurrences and uses. *VCH*, New York, 573 pp.
- Corredor, J.E.; Morrell, J.M. 1994. Nitrate depuration of secondary sewage effluents in mangrove sediments. *Estuaries*, 17, 295-300.
- Costa, L. G. S. Adaptações. In: Schaeffer-Novelli, Y. (Ed.) Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: *Caribbean Ecological Research*, 1995. cap.7, p. 31-33.
- Demas, G.P. & Rabenhorst, M.C. 1999. Subaqueous soils: pedogenesis in a submerged environment. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 63:1250-1257.
- Doner, H.E.; Lynn, W.C. Carbonate, halide, sulfate, and sulfide minerals. In: Dixon, J.B.; Weed, S.B. (Ed.) Minerals in soils environments. 2.ed. Madison: *SSSA*, 1989. p.279-330.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, 1978. p.370 – 379 (Boletim Técnico no. 45).
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária.–EMBRAPA Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.
- Fanning, D.S; Keramidas, V.Z.; El-Desoky, M.A. Micas. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). Minerals in soils environments. 2.ed. Madison: *SSSA* 1989. p.551-634
- Firme, L.P. Caracterização físico-química de solos de mangue e avaliação de sua contaminação por esgoto doméstico via traçadores fecais. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2003. 70p. (Dissertação Mestrado)
- Fitzpatrick, R.W., Hicks, W.S., Bowman, G.M., 1999. East trinity acid sulfate soils part 1: environmental hazards. Queensland, 77pp.
- Froelich, P.N.; Klinkhammer, G.P.; Bender, M.L.; Lurdtkke, N.A.; Heath, G.R.; Cullen, D.; Dauphin, P.; Hammond, D.; Hartman, B. & Maynard, V. Early. 1979. oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: Suboxic diagenesis. *Geoc. Cosmoc. Acta.*, 43:1075-1090,
- Harris, L.C.; Whiting, B.M. Sequence-stratigraphic significance of Miocene to Pliocene glauconite-rich layers, on-and offshore of the US mid-atlantic margin. *Sedimentary Geology*, v. 134, p.129-147, 2000.
- Hillier, S. Erosion, sedimentation and sedimentary origin of clays. In: VELDE, B. (Ed.) Origin and mineralogy of clays: clays and de environment. Berlin: *Springer*, 1995. cap.4, p.162-214
- Hines, M.E.; Lyons, W.B.; Armstrong, P.B.; Orem, W.H.; Spencer, M.J.; Gaudette, H.E. 1984. Seasonal metal remobilization in the sediments of Great Bay, New Hampshire. *Mar. Chem.* v. 15, p. 173-187.
- Hines, M.E; Jones, G.E. 1985. Microbial biogeochemistry in the sediments of Great Bay, New Hampshire. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 20, 729-742.
- Jimenez, J.A. 1988. *Laguncularia racemosa*:

- white mangrove. Rio Piedras: Institute of Tropical Forestry; *UNESCO*, 4p.
- Jimenez, J.A. Rizophora mangle: red mangrove. Rio Piedras: Institute of Tropical Forestry; *UNESCO*, 1985. 7p.
- Jimenez, J.A.; Lugo, A.E. Avicennia germinans: black mangrove. Rio Piedras: Institute of Tropical Forestry; *UNESCO*, 1988. 6p.
- Kelly, J.C.; Webb J.A. 1999. The genesis of glaucony in the Oligo-Miocene Torquay group, southeastern Australia: petrographic and geochemical evidence. *Sedimentary Geology*. v. 125, p. 99-111.
- Koretsky, C.M., Moore, C.M., Lowe, K.L., Meile, C., Dichristina, Y.J., Van Cappellen, P. 2003. Seasonal oscillation of microbial iron and sulfate reduction in saltmarsh sediments (Sapelo Island, GA, USA). *Biogeochemistry* 64, 179-203.
- Köster, H.M. The crystal structure of 2:1 layer silicates. In: Internacional Clay Conference, 1., Bologna, 1981. Proceedings. Amsterdam: Elsevier, p.41-72.
- Kristensen, E. M. H.; Bodenbender, J.; Jensen, M.H.; Rennenberg, H.; Jensen, K.M. Sulfur cycling of intertidal Wadden Sea sediments (Konigshafen, Island of Sylt, Germany): sulfate reduction and sulfur gas emission. *J. Sea Res.* v.43, p.93-104, 2000.
- Lacerda, L.D. 1984. Manguezais: florestas de beira-mar. *Ciência Hoje*, v.3, n.13, p.63-70, jul./ago.
- Lacerda, L.D. 1993. Carvalho, C.E.V.; Tanazaki, K.F.; Ovalle, A.R.C.; Rezende, C.E. The biogeochemistry and trace-metals distribution of mangrove rhizospheres. *Biotropica*, 25, 252-257.
- Lacerda, L.D.; Wolfgang, C.P.; Fisman, M. 1981. Níveis naturais de metais pesados em sedimentos marinhos das Baía da Ribeira, Angra dos Reis. *Ciência e Cultura*, 34, 921-924,
- Lacerda, L.D.; Conde, J.E.; Kjerfve, B.; Álvarez-León, R.; Alarcón, C. & Polania, J. 2002. American Mangroves. In: Mangrove Ecosystems: Function and management. Luiz D. Lacerda (editor); *Springer*, Berlin. 1-62.
- Lamberti, A. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas do manguezal de Itanhaém. São Paulo, 1966. 217p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.
- Larsen, G., Chilingar, G.V., 1967. Introduction. In: Larsen, G., Chilingar, G.V. (Eds.), Diagenesis in sediments. *Elsevier Scientific Publishing Company*, Amsterdam, 1-19.
- Lepsch, I.F.; Sakai, E.; Amaral, A.Z. Levantamento pedológico de reconhecimento semidetalhado da Região do Rio Ribeira do Iguape no Estado de São Paulo. Campinas, SAA/IAC, 1983. Folha SG.23-V-A-IV-2, Escala 1:100.000.
- Lima, F.A.M.; 1975. Costa, R.S. Estudo preliminar das áreas de manguezais no estado do Ceará: áreas principais de ocorrência na faixa costeira de 38°36'W – 41°15'W. *O Solo*, 67:10-12,
- Machado, A.L. 1994. Análise da cobertura vegetal de um manguezal impactado por óleo através de fotointerpretação. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA BRASILEIRA, 3., Serra Negra, 1993. Anais. Serra Negra: ACIESP, 68-92.
- Mackey, A.P.; 1996. Mackay S. Spatial distribution of acid-volatile sulphide concentration and metal bioavailability in mangrove sediments from the Brisbane river, Austrália. *Environmental Pollution*. v.93, n.2, p.205-209.
- Mackin, J.E.; Swider, K.T. 1989. Organic matter decomposition pathway and oxygen consumption in coastal marine sediments. *J. Mar. Res.* v.47, p.681-716.
- Macknae, W. 1968. A general account of the

- fauna and flora of mangrove swamps and forest in the Indo West Pacific region. *Advances in Marine Biology*, n.63, 73-270,
- Madureira, M.J.; Vale, C. 1997. Simões Gonçalves, M.L. Effect of plants on sulphur geochemistry in Tagus salt-marshes sediments. *Mar. Chem.* 58, 27-37.
- Marius, C.; Lucas, J. 1991. Holocene mangrove swamps of West Africa: sedimentology and soils. *Journal African Earth Science*, 12, 41-54.
- Marius, C; Archanjo, D. & Larque, P. 1987. Les sols de mangroves de la baie de Victoria (Brasil). *Cah. ORSTOM, Sér. Pedol.* 23(3):211-216,
- Mcgregor, A. 1975. Medical aspects of estuarial pollution. In: CONFERENCE ON POLLUTION CRITERIA FOR ESTUARIES, 1., New York, 1973. Pollution Criteria for Estuaries. New York: *Halsted Press*, 40-53.
- Mendelssohn, I.A.; Mckee, K.L. 1981. Patrick, W.H. Oxygen deficiency in *Spartina alterniflora* roots: metabolic adaptation to anoxia. *Science* 214, 439-441.
- Menezes, L.F.T. 2000. A riqueza ameaçada dos mangues. *Ciência Hoje*, v.27, n.158, p.63-67, mar.
- Moeslund, L.; Thamdrup, B.; Jorgensen, B.B. 1994. Sulfur and iron cycling in a coastal sediment: redio-tracer studies and seasonal dynamics. *Biogeochem* 27, 129-152.
- Moscatelli, M. Mar. 2000. 500 anos de degradação. *Ciência Hoje*, 27, n.158, 42-45.
- Otero, X.L., Macías-Vázquez, F., 2002. Variation with depth and season in metal sulfides in salt marsh soils. *Biogeochemistry* 61, 247-268.
- Otero. X.L. Biogeoquímica de metais pesados em ambientes sedimentários marinhos. Santiago de Compostela, 2000. 308p. Tesis (D.R.) – Universidad de Santiago de Compostela.
- Ponnanperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soil. *Adv. Agro.*, 24:29-96, 1972.
- Prada-Gamero, R.M. Mineralogia, físico-química e classificação dos solos de mangue do Rio Iriri no canal de Bertioiga (Santos, SP). Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2001. 76p. (Dissertação Mestrado)
- Prada-Gamero, R. M.; Vidal-Torrado, P., Ferreira, T. O. 2004. Mineralogia e físico-química dos solos de mangue do rio Iriri no Canal de Bertioiga (Santos, SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa: , 28, n.2, 233 - 244,
- Prakasa, R.M. 1987. Swamy, A.S.R. Clay mineral distribution in the mangrove of the Godavari delta. *Clay Research*, 6, n.2, 81-86,
- Rabenhorst, M.C; Fanning, D.S. 1989. Pyrite and trace metals in glauconitic parent materials of Maryland. *Soil Science Society of America Journal*, 53, n.6, 1791-1797.
- Rossi, M. & Mattos, I.F.A. 2002. Solos de mangue do Estado de São Paulo: caracterização química e física. *Rev. Depto de Geografia*, São Paulo.15:101-113.
- Saintilan, N. Relationships between height and girth of mangroves and soil-water conditions in the Mary and Hawkesbury River estuaries, eastern Australia. *Australian J. Ecology*, 23, 322-328, 1998.
- Schaeffer-Novelli, Y. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha. São Paulo: USP/IO, 1999. 56p.
- Schaeffer-Novelli, Y. Manguezais Brasileiros. São Paulo, 1991. 42p. Tese (Livre-Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón, G. Manguezais Brasileiros: uma síntese sobre aspectos históricos (séculos XVI a XIX) zonação, estrutura e impactos ambientais. In: Simposio de Ecossistemas da Costa Brasi-

- leira, 3., Serra Negra, 1993. Anais. Serra Negra: ACIESP, 1994. 333-341.
- Shulz, H.D. 2000. Redox Measurements in Marine Sediments. In: Scüring, J.; Shulz, H.D.; Fischer, W.R.; Böttcher, J.; Duijnsveld, W.H.M. ed. Redox: Fundamentals Processes and Applications. Berlin, Springer, 235-246.
- Schwertmann, U. (1992): Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. In J.M. Bigham, E.J. Ciolkosz, Soil Color. *Soil Sci. Soc. Am. Special Publication* n° 31. Madison-Wisconsin, USA, 51-70.
- Sherman, R.; Timothy, F.; Howarth, R. Soil-plant interactions in a neotropical forest: iron, phosphorus and sulfur dynamics. *Oecologia*, v.115, p.553-563, 1998.
- Silva, M.L. S. 2005. Biogeoquímica de elementos traço em solos de sistemas estuarinos:manguezais do estado de São Paulo (Brasil) e marismas da Galícia (Espanha). Tese de Doutorado. ESALQ-USP, 162 páginas.
- Silva, C.; Lacerda, L.D.; Rezende, 1990. C.E. Metals reservoir in a red mangrove forest. *Biotropica*, v.22, p.339-345.
- Silva, H.P.; Mattos, J.T. Utilização do sensoriamento remoto na análise do meio físico visando a avaliação de áreas degradadas. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 19., Pernambuco, 1999. Anais. Pernambuco, CFETP, 1999. p.1-7.
- Silva, I.X.; Moraes, R.P.; Santos, R.P.; Martins, S.E.; Pompéia, S.L. A degradação dos ecossistemas da Baixada Santista, São Paulo. In: Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira, 3., Serra Negra, 1993. Anais. Serra Negra: ACIESP, 1994. p.30-38.
- Simonson, R.W. 1959. Outline of a generalized theory of soil genesis. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 23:152-156.
- Singer, A., Müller, G., 1988. Diagenesis in argillaceous sediments. In: Larsen, G.; Chilingar, G.V. (Eds.), Diagenesis in sediments and sedimentary rocks 2. *Elsevier Scientific Publishing Company*, Amsterdam, pp. 115-212.
- SOIL SURVEY STAFF 1998. Keys to soil taxonomy. 8. ed. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Sugiyama, M. 1995. A flora do manguezal. In: Schaeffer-Novelli, Y. (Ed.) Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: *Caribbean Ecological Research*, cap.4, p.17-21.
- Sugiuo, K. 1998. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1.222p.
- Sugio, K.; Martin, L.; Bittencourt, A.C.S.P.; Dominguez, J.M.L.; Flexor, J.M.; Azevedo, A.E.G. 1985. Flutuações do nível do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15, n.4, 273-286, ago.
- Sylla, M.; Stein, A.; Mensvoort, M.E.F. van; Breemen, 1996 N. van. Spatial variability of soil actual and potential acidity in the mangrove agroecosystem of west Africa. *Soil Science Society of America Journal*, 60, 219-229..
- Tam, N.F.Y.; Wong, Y.S. 1997. Accumulation and distribution of heavy metals in a simulated mangrove system treated with sewage. *Hydrobiologia*, v.352, 67- 75.
- Tam, N.F.Y.; Wong, Y.S. Mangrove soils in removing pollutants from municipal wastewater of different salinities. *Journal of Environmental Quality*, 28,556-564, 1999.
- Tam, N.F.Y.; 1995. Wong, Y.S. Mangrove soils as sinks for waste-borne pollutants. *Hydrobiologia*, 295, 231-241,
- Tam, N.F.Y.; Wong, Y.S. Normalization and

- heavy contamination in mangrove sediments. *Science of Total Environment*, v.216, p.33-39, 1998.
- Tam, N.F.Y.; Wong, Y.S. Nutrient and heavy metal retention in mangrove sediment receiving waste-water. *Water Science Technology*, v.29, p.193-200, 1994.
- Tam, N.F.Y.; Wong, Y.S. Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils receiving wastewater. *Environmental Pollution*, v.94, p.283-291, 1996.
- Toze, S. Microbial pathogens in wastewater: literature review for urban water systems. Melbourne: CSIRO, 1997. 80p. (Multidivisional Research Program Technical Report, no 1/97).
- Ukpong, I.E. Soil-vegetation interrelationships of mangrove swamps as revealed by multivariate analyses. *Geoderma*, v.64, p.167-181, 1994.
- Van Breemen, N. (1982): Genesis, morphology and classification of acid sulfate soils in coastal plains. En J.A. Kittrick et al., Acid sulfate weathering, Spec. Pub. 10. *Soil Sci. Soc. Am.* Madison-Wisconsin, 95-108.
- Weaver, C.E. Clays, muds and shales: developments in sedimentology. Amsterdam: Elsevier, 1989. 819p.
- Ye, Y.; Tam, N.F.Y.; Wong, Y.S. Livestock wastewater treatment by a mangrove pot-cultivation system and the effect of salinity on the nutrient removal efficiency. *Marine Pollution Bulletin*, v.42, n.6, p.513-521, June 2001.
- Yim, M.W.; Tam, N.F.Y. Effects of wastewater-borne heavy metals on mangrove plants and soil microbial activities. *Marine Pollution Bulletin*, v.39, n.1-12, p.179-186, Jan./Dec. 1999.
- Yokoya, N. S. Distribuição e origem. In: SchaefferR-Novelli, Y. (Ed.) Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo. *Caribbean Ecological Research*, 1995. cap.2, p.9-12.