

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA LANG MARTINS MADI

ESTRUTURA VEGETAL, STATUS NUTRICIONAL DO
COMPONENTE ARBÓREO E DO SOLO DOS MANGUEZAIS DO SUL
DO BRASIL

CURITIBA

2013

ANA PAULA LANG MARTINS MADI

**ESTRUTURA VEGETAL, STATUS NUTRICIONAL DO
COMPONENTE ARBÓREO E DO SOLO DOS MANGUEZAIS DO
SUL DO BRASIL**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ecologia e Conservação, junto ao Curso de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Maria Regina Torres Boeger

Co-orientador: Carlos Bruno Reissmann

CURITIBA

2013



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Setor de Ciências Biológicas
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO




PARECER


Os abaixo-assinados, membros da banca examinadora da defesa da tese, a que se submeteu **Ana Paula Lang Martins Madi** para fins de adquirir o título de Doutora em Ecologia e Conservação, são de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do trabalho de conclusão da candidata.

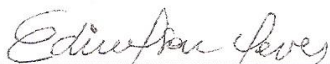
Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação.

Curitiba, 17 de junho de 2013.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dra. Maria Regina Torres Boeger
Orientadora e Presidente


Prof. Dra. Elaine Bernini
Membro


Dr. Edinelson José Maciel Neves
Membro


Dr. Marcos Fernando Gluk Rachwal
Membro


Dr. Ricardo Miranda de Britez
Membro

Visto: 
Prof. Dra. Maria Regina Torres Boeger
Coordenadora do PPG-ECO

Ao meu maior incentivador, meu marido, **Bruno**

Às nossas maiores alegrias, queridas filhas, **Flávia e Luísa**

E aos meus pais, que sempre me ajudaram e vibraram
com cada conquista, **Débora e Guaracy**

AGRADECIMENTOS

À professora Regina, minha orientadora, por ter compartilhado seu conhecimento e amizade e juntas aprendermos um pouco mais a cada dia de estudo e dedicação;

Ao professor Bruno, meu co-orientador, pelos ensinamentos e por dividir seu tempo, sua amizade, incentivo e apoio;

Aos amigos do laboratório: Alessandra, Letícia, Márcia, João, Guilherme, Carol, Andressa, Ellen, Sikandra, Willian e Paulo pela amizade, ajuda e companheirismo;

Aos docentes do Programa de Ecologia e Conservação – UFPR, pelos ensinamentos recebidos;

À Valéria, secretária do Programa de Ecologia e Conservação – UFPR, pelo apoio em todos os momentos solicitados;

À professora Celina Wisniewski pela classificação do solo dos manguezais estudados;

Ao pesquisador Marcos Rachwal pelas contribuições na classificação dos solos;

À professora Raquel Negrelle, ao professor Renato Marques e pesquisador Sérgio Gaiad, pelas contribuições na qualificação do projeto;

Aos professores Valéria Muschner e André Padial pelas contribuições e sugestões na minha apresentação no IX Simpósio PPG Ecologia e Conservação– UFPR;

Às amigas Letícia e Carol pela grande ajuda nos trabalhos em campo e discussão de artigos;

À amiga Kelly pela ajuda com a estatística e amizade;

À amiga Thais pela ajuda na preparação dos mapas;

À amiga Alessandra por compartilhar comigo a disciplina Ecologia de Campo;

À bibliotecária Simone Amadeu pelo excelente atendimento e envio de inúmeros artigos científicos em meu e-mail;

Ao pesquisador Edilson Oliveira pela ajuda com as análises estatísticas;

Aos barqueiros, Dolenga e Belém, pelos momentos de convívio e auxílio nas coletas;

À CAPES, Petrobras e Fundação Araucária pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento desse projeto.

RESUMO

Os manguezais são ecossistemas costeiros de transição entre ambientes marinhos e terrestres. Sua vegetação apresenta adaptações específicas às quais permitem o desenvolvimento em um ambiente com alta salinidade, periodicamente inundado pela maré, baixa oxigenação e solo lodoso. Comparados a ambientes terrestres são simples em sua arquitetura arbórea. No entanto, apresentam alta complexidade em função da interação com vários fatores abióticos (edáficos como anoxia e salinidade variável), bióticos (organismos) e antrópicos (poluição e exploração) que atuam em diferentes escalas espaciais e temporais. Nesse contexto, pode-se esperar que a estrutura e desenvolvimento dos manguezais do Estado do Paraná apresentem parâmetros fitossociológicos e químicos distintos em função das condições edáficas. O objetivo geral do estudo foi avaliar comparativamente dois manguezais do litoral do Paraná, nos municípios de Antonina e Guaratuba. Fez parte dessa avaliação, o levantamento fitossociológico, a análise físico-química do solo e das plantas dos manguezais estudados. Tanto para o componente arbóreo como para a regeneração natural foram identificadas as seguintes espécies: *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. e *Rhizophora mangle* L. As análises do solo mostraram que o teor de carbono é o atributo principal que diferencia os manguezais. As três espécies apresentaram concentrações foliares de macronutrientes e sódio distintas, mostrando, dessa forma, a absorção seletiva, ainda que compartilhando o mesmo solo. A eficiência do uso de nutrientes também diferiu, sugerindo que as espécies estudadas apresentam estratégias diferenciadas quanto ao acúmulo e utilização dos nutrientes. De forma geral, em ordem crescente de eficiência de uso dos nutrientes, tem-se *L. racemosa* > *R. mangle* > *A. schaueriana*. Considerando o grande número de variáveis investigadas foram observados um número baixo de correlações significativas. Apenas quatro correlações foram observadas para Mn, Zn e Cu em ambos os compartimentos, solo e planta. Estes resultados sugerem que o número baixo de correlações significativas encontradas deve-se a fatores abióticos, mecanismos de inibição aos elementos que ocorrem nas plantas e a imobilização e/ou adsorção desses metais pelo solo. Dessa forma, esse estudo demonstrou que na análise fitossociológica das áreas, os fatores locais, mais especificamente o tipo de solo e salinidade intersticial da água, foram determinantes na distinção das áreas estudadas. Em relação à composição química das espécies vegetais, no entanto, as diferenças das características no solo não foram suficientes para alterar o perfil nutricional das espécies, sugerindo absorção seletiva dos nutrientes pelos indivíduos das espécies de mangue.

Palavra-chave: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, mangue.

ABSTRACT

Mangroves are transitional coastal ecosystems between marine and terrestrial environments. Its vegetation owns specific adaptations that allow their development in an environment with high salinity, periodically waterlogged by tidal, low oxygenation and muddy soil. Compared to terrestrial environments mangroves are simple in their arboreous architecture. However show high complexity as a result of the interaction among the various biotic and abiotic factors (edaphic as gradients in anoxia and salinity), biotic (organisms) and anthropogenic (pollution and exploitation), acting in different spacial and temporal scales. In this sense it is expected that the structure and development of the mangroves of Paraná State present distinct phytosociological and chemical parameters according to edaphic conditions. The general purpose of the study was to evaluate comparatively two mangroves of the litoral of Paraná, in the municipalities of Antonina and Guaratuba. The evaluation included the phytosociological survey, the physical-chemical analysis of the soil and chemical analysis of the plant leaves. So much for the tree component as the natural regeneration were identified the following species: *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. e *Rhizophora mangle* L. Soil data showed that the organic carbon of the substrate represents a strong discriminator between the two mangroves. The three species presented distinct leaf concentrations, showing quantitative discrimination and selective absorption, even by sharing the same substrate. Also different nutrient use efficiency could be observed, denoting different strategies in nutrient accumulation and utilization. In a general Manner, and in a crescent order the nutrient use efficiency obeyed the following: *L. racemosa* > *R. mangle* > *A. schaueriana*. Considering the great number of variables investigated a low number of significant correlation were observed. Only four significant correlations were observed for Mn, Zn and Cu in both compartments, soil and plant. This results suggests that the few significant correlations may be a result of the abiotic factors, elemental inhibition mechanisms and immobilizations and/or adsorption of the elements by the soil. There are clear evidences that phytosociological aspects, local factors, more specifically the type of the soil and interstitial water salinity were determinant area distinguishers. In relation to chemical composition of the mangrove plants, however, the differences in soil characteristics were not sufficient to alter the nutritional profile of the species, suggesting a selective pattern of nutrient absorption.

Keywords: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, mangue.

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO 1

Tabela 1	Descrição das variáveis abióticas das áreas de estudo: Antonina e Guaratuba, Paraná, Brasil, para o ano de 2010.....	7
Tabela 2	Estrutura do componente arbóreo por espécie e por subárea, nas áreas de Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3), Paraná, Brasil. DA: Densidade absoluta (n° ind.ha ⁻¹), DR: Densidade relativa (%), DoA: Dominância absoluta (g.ha ⁻¹), DoR: Dominância relativa (%), FA: Frequência absoluta (%), FR: Frequência relativa (%), VC: Valor de cobertura, VI: Valor de importância.....	8
Tabela 3	Valores médios (\pm desvio padrão) de altura (m) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm) do componente arbóreo, por espécie e por subárea, nos manguezais de Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3), Paraná, Brasil.....	10
Tabela 4	Parâmetros estruturais do componente de regeneração das áreas estudadas: Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3), Paraná, Brasil. DA: Densidade absoluta (n° indivíduos.m ⁻²), Densidade relativa (%), FA: Frequência absoluta (%), FR: Frequência relativa (%), Altura (em m), DBC: Diâmetro base do caule (em cm) (média \pm desvios-padrão).....	11
Tabela 5	Correlação entre os valores dos atributos fitossociológicos da regeneração natural, do componente arbóreo, do solo e dos escores das duas coordenadas principais entre os manguezais de Antonina e Guaratuba. DAP: Diâmetro altura do peito; DA: Densidade absoluta; DomA: Dominância absoluta; DBC: Diâmetro da base do caule; MO: Matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca catiônica; Eh: Potencial redox.....	15

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 1

- Figura 1** Áreas de estudo no manguezal do estuário do Rio Nhundiaquara (Antonina, Paraná, Brasil) e manguezal do estuário do Rio dos Pinheiros (Guaratuba, Paraná, Brasil)..... 6
- Figura 2** Distribuição de plântulas do componente de regeneração, por classe de altura (A), distribuição de indivíduos adultos vivos do componente arbóreo, por classes de altura (B) e classe de diâmetro (C), nas áreas analisadas: Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3)..... 12
- Figura 3** ACoP dos parâmetros fitossociológicos da regeneração natural (A), do componente arbóreo (B) e dos atributos pedológicos (C) dos manguezais de Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3). Os autovalores e a respectiva porcentagem estão mostrados no gráfico. Somente as duas primeiras coordenadas são interpretáveis pelo critério de “Broken Stick”..... 13

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO 2

Tabela 1	Características químicas do solo, sob as espécies <i>A. shaueriana</i> , <i>L. racemosa</i> e <i>R. mangle</i> , no manguezal de Guaratuba, em profundidade 0-10 cm.....	26
Tabela 2	Valores médios da concentração de macronutrientes nas folhas das espécies estudadas, no manguezal de Guaratuba.....	26
Tabela 3	Eficiência de Uso dos Nutrientes (EUN) calculada para as folhas das espécies estudadas, no manguezal de Guaratuba.....	27
Tabela 4	Correlação de Pearson para os nutrientes foliares e do solo das espécies estudadas, no manguezal de Guaratuba ($p < 0,05$; ns = não significativo).....	28

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 2

Figura 1	Área de estudo analisada no manguezal do estuário do Rio dos Pinheiros (Guaratuba, Paraná, Brasil).....	23
Figura 2	Dendrograma formado em função dos atributos pedológicos e nutrientes foliares de <i>A. shaueriana</i> (A), de <i>L racemosa</i> (B) e de <i>R. mangle</i> (C) no manguezal de Guaratuba.....	29

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO 3

Tabela 1	Geographical localization, climate and edaphic characteristics of mangrove areas at Antonina, State of Paraná, Brazil.....	50
Tabela 2	Chemical characteristics (at 0-10 cm depth) of soil samples collected under the tree crown projection of <i>A. shaueriana</i> , <i>L. racemosa</i> and <i>R. mangle</i> species growing in mangrove areas at Antonina and Guaratuba, State of Paraná, Brazil.....	51
Tabela 3	Leaf macronutrient and Na concentrations and net selectivity index for K (net $S_{K:Na}$) of three species (<i>A. shaueriana</i> , <i>L. racemosa</i> and <i>R. mangle</i>) growing in mangrove areas at Antonina and Guaratuba, State of Paraná, Brazil.....	52
Tabela 4	Pearson correlation coefficients determined between some leaf and soil nutrient concentrations. Leaf samples collected from <i>A. shaueriana</i> , <i>L. racemosa</i> and <i>R. mangle</i> tree species and soil samples collected under the tree crown projection in mangrove areas, at Antonina and Guaratuba, State of Paraná, Brazil.....	53
Tabela 5	Correlation between the original variable values (of soil chemical attributes and leaf nutrient concentrations –p – of three adult plant species) and the two principal coordinates used to detect differences between the mangrove areas at Antonina and Guaratuba, State of Paraná, Brazil.....	54

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 3

Figura 1	Study areas analyzed in the mangrove of the estuary of Nhundiaquara River (Antonina, Paraná, Brazil) and mangrove of the estuary of Pinheiros River (Guaratuba, Paraná, Brazil).....	55
Figura 2	Principal coordinate analysis (PCoA) results of soil chemical attributes and leaf nutrient concentrations of <i>A. shaueriana</i> (AV), from two mangrove areas of Antonina (A) and Guaratuba (G), State of Paraná, southern Brazil.....	56
Figura 3	Principal coordinate analysis (PCoA) results of soil chemical attributes and leaf nutrient concentrations of <i>L. racemosa</i> (LAG), from two mangrove areas of Antonina (A) and Guaratuba (G), State of Paraná, southern Brazil.....	57
Figura 4	Principal coordinate analysis (PCoA) results of soil chemical attributes and leaf nutrient concentrations of <i>R. mangle</i> (RH), from two mangrove areas of Antonina (A) and Guaratuba (G), State of Paraná, southern Brazil.....	58

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO 4

Tabela 1	Posição geográfica, características climáticas e edáficas dos manguezais de Antonina e Guaratuba.....	71
Tabela 2	Micronutrientes do solo sob as espécies <i>A. shaueriana</i> , <i>L. racemosa</i> e <i>R. mangle</i> , nos manguezais de Antonina e Guaratuba, em profundidade 0-10 cm.....	72
Tabela 3	Valores médios da concentração de metais nas folhas das espécies <i>A. shaueriana</i> , <i>L. racemosa</i> e <i>R. mangle</i> dos manguezais de Antonina e Guaratuba.....	73

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 4

- Figura 1** Áreas de estudo analisadas no manguezal do estuário do Rio Nhundiaquara (Antonina, Paraná, Brasil) e manguezal do estuário do Rio dos Pinheiros (Guaratuba, Paraná, Brasil)..... 74
- Figura 2** Curvas de regressão entre Mn solo e Mn planta no manguezal de Antonina (A) Mn solo e Mn planta no manguezal de Guaratuba (B) Zn solo e Zn planta no manguezal de Guaratuba (C) Cu solo e Cu planta no manguezal de Guaratuba. Mn: manganês; Zn: zinco..... 75

SUMÁRIO

Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de tabelas do artigo 1.....	viii
Lista de figuras do artigo 1.....	ix
Lista de tabelas do artigo 2.....	x
Lista de figuras do artigo 2.....	xi
Lista de tabelas do artigo 3.....	xii
Lista de figuras do artigo 3.....	xiii
Lista de tabelas do artigo 4.....	xiv
Lista de figuras do artigo 4.....	xv
INTRODUÇÃO GERAL	1
ARTIGO 1	4
Resumo	4
Abstract	4
Introdução	5
Material e Métodos	6
Resultados	8
Discussão	16
Agradecimentos	17
Referências Bibliográficas	18
ARTIGO 2	20
Resumo	20
Abstract	20
Introdução	21
Material e Métodos	23
Resultados	25
Discussão	32
Conclusão	35
Agradecimentos	36
Literatura Citada	36

ARTIGO 3.....	39
Abstract.....	39
Introduction.....	40
Material and Méthods.....	41
Results.....	43
Discussion.....	44
Acknowledgements.....	47
References.....	47
ARTIGO 4.....	59
Resumo.....	59
Abstract.....	60
Introdução.....	61
Material e Métodos.....	62
Resultados.....	63
Discussão.....	64
Agradecimentos.....	68
Referências.....	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
REFERÊNCIAS GERAIS.....	78

INTRODUÇÃO GERAL

Os manguezais são ecossistemas costeiros que ocorrem em regiões tropicais e subtropicais, sujeitos ao regime das marés (SHAEFFER-NOVELLI et al., 1990). Apresentam vegetação lenhosa típica, adaptada a um solo lodoso com grandes variações de salinidade e baixa oxigenação (GRIFFITHS et al., 2008).

São predominantemente encontrados na região limitada pelos trópicos de Câncer e de Capricórnio, tendo sua região de desenvolvimento preferencial na linha do Equador (VIDAL-TORRADO et al., 2005). Estima-se a existência de cerca de 137.760 km² de manguezais em todo o mundo (GIRI et al., 2011), sendo que as maiores florestas são encontradas na Malásia, Índia, Brasil, Venezuela, Nigéria e Senegal (LACERDA, 1984). No Brasil, as áreas de manguezais são encontradas em quase toda a extensão do litoral, desde o extremo norte (Oiapoque 04°30'N) no Amapá até Santa Catarina (Laguna 28°30'S (YOKOYA, 1995), correspondendo a 6800 km (SHAEFFER-NOVELLI et al., 1990).

As florestas de mangue desempenham um papel ecológico fundamental para as zonas costeiras (KAUFFMAN et al., 2011): contribuem no controle da erosão da linha da costa (REEF et al., 2010); servem de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de várias espécies de peixes (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000), e aves migratórias; representam fonte de matéria orgânica, constituindo a base da cadeia trófica (TUE et al., 2012); absorvem e imobilizam poluentes, como os metais pesados (KANNAPPAN et al., 2012) e produzem bens e serviços que são utilizados pelas comunidades locais (DITTMAR et al., 2006)

Esses ecossistemas apresentam baixa diversidade de espécies arbóreas, quando comparadas com outras florestas tropicais (KATHIRESAN, 2008). Nos manguezais do sul do Brasil, ocorrem apenas três espécies: *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman (CINTRÓN e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990). A salinidade, a variação das de maré, o clima e o tipo de solo são os principais fatores que influenciam na distribuição e estrutura dos manguezais, determinando seu grau de desenvolvimento (ODUM et al., 1982). Apesar desses fatores determinarem a ocorrência dos manguezais ao longo das regiões costeiras, as características dos mesmos em termos estruturais e

funcionais podem ser variáveis (BERNINI e REZENDE, 2010). Em uma escala regional, a geomorfologia é um dos fatores, juntamente com o tipo de solo e salinidade, que explicam os diversos padrões de desenvolvimento das florestas (TWILLEY e CHEN, 1998). Assim, a caracterização estrutural dos manguezais possibilita conhecer a relação desse ecossistema com as variações ambientais, constituindo uma ferramenta importante nos estudos e ações relacionadas à conservação deste ecossistema (SOARES, 1999).

Devido à complexidade de interações entre os fatores abióticos, a maioria das espécies de mangue pode diferir na concentração absoluta e nas proporções relativas dos diferentes nutrientes, em função da eficiência no processo de absorção de nutrientes e a preferência das espécies por um determinado elemento (BERNINI et al., 2006). As diferenças nos teores de micro e macronutrientes nos tecidos foliares das espécies vegetais podem ser atribuídas às variações temporais (CUZZUOL e ROCHA, 2012) e às variações espaciais, às quais têm relação com os atributos físico-químicos do solo dos manguezais (BERNINI et al., 2006; 2010).

Os solos das áreas dos manguezais são classificados como solos halomórficos, desenvolvidos a partir de sedimentos marinhos e fluviais. As principais classes de solo neste ambiente são: Gleissolos Tiomórficos, Gleissolos Sálícos e Organossolos (VIDAL TORRADO et al., 2005). Nesses solos, há um predomínio de acúmulo de frações finas (argila e silte), elevadas quantidades de matéria orgânica e de sais solúveis em decorrência do contato com o mar (CINTRÓN e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983).

No estado do Paraná, são comuns os Gleissolos e Organossolos, os quais podem apresentar tiomorfismo (EMBRAPA, 2009). A classe Gleissolo compreende solos hidromórficos, permanente ou periodicamente saturados por água, o que reflete em sua coloração cinza devido a presença de ferro (Fe), no estado reduzido. São solos constituídos por material mineral e textura variável. A classe Organossolo compreende solos com grande proporção de resíduos vegetais em grau variado de decomposição e condições de drenagem restrita. A densidade é muito baixa e a porosidade muito elevada. São solos extremamente frágeis, mas com elevada capacidade de estocar carbono orgânico e armazenar água (EMBRAPA, 2009). A variação das marés a que são frequentemente submetidos os manguezais é responsável por importantes alterações físico-químicas do solo (VIDAL-TORRADO et al., 2005). 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 Fe e o enxofre (S) do solo.

Nesse contexto, pode-se esperar que a estrutura e desenvolvimento dos manguezais do Estado do Paraná apresentem parâmetros fitossociológicos distintos em função das condições edáficas.

O objetivo geral do estudo foi avaliar comparativamente dois manguezais do litoral do Paraná, nos municípios de Antonina e Guaratuba. O manguezal de Antonina localiza-se na Baía de Paranaguá e o manguezal de Guaratuba localiza-se na Baía de Guaratuba. Fez parte dessa avaliação, o levantamento fitossociológico, a análise química do solo e das plantas dos manguezais estudados.

A estrutura da tese foi organizada em quatro artigos. O artigo 1, submetido na revista *Ciência Florestal* e intitulado “Estrutura do componente de regeneração natural e arbóreo de dois manguezais no estado do Paraná”, avaliou comparativamente os parâmetros fitossociológicos da regeneração natural e da vegetação arbórea em dois manguezais distintos, uma pertencente à Baía de Paranaguá (manguezal de Antonina) e outra à Baía de Guaratuba (manguezal de Guaratuba). O artigo 2, submetido na revista *Agriambi*, de tema “Composição química do solo e eficiência de uso de nutrientes das espécies do manguezal de Guaratuba, Paraná, Brasil”, buscou determinar a composição química das espécies arbóreas do manguezal de Guaratuba-PR e a sua relação com o solo onde elas estão inseridas, bem como a sua eficiência de uso dos nutrientes (EUN). O artigo 3, submetido na revista *Estuaries and Coasts* com título “Relação entre a composição química de solo e planta em dois manguezais no sul do Brasil”, verificou se a concentração de nutrientes foliares das espécies sofre influência das diferentes classes de solos e se os atributos pedológicos podem explicar as diferenças nutricionais observadas entre as espécies de mangue estudadas. O artigo 4, “Distribuição de Cu, Fe, Mn e Zn em dois manguezais do sul do Brasil” procurou dimensionar a relação entre solo-planta em termos de micronutrientes, analisando o grau de correlação entre esses dois compartimentos. Esse artigo foi preparado de acordo com a revista *Marine Environmental Research*.

ARTIGO 1

ESTRUTURA DO COMPONENTE ARBÓREO E DE REGENERAÇÃO NATURAL DE DOIS MANGUEZAIS NO ESTADO DO PARANÁ

STRUCTURES OF ADULT TREES COMPONENT AND REGENERATION COMPONENT OF TWO MANGROVE FORESTS OF PARANÁ

RESUMO

Esse estudo avaliou comparativamente os parâmetros fitossociológicos da regeneração natural e da vegetação arbórea em dois manguezais distintos no Estado do Paraná, uma pertencente à Baía de Paranaguá (manguezal de Antonina) e outra à Baía de Guaratuba (manguezal de Guaratuba). Em cada área, três subáreas foram marcadas e, nestas, amostradas cinco parcelas de 10 x 10 m para avaliação do componente arbóreo e quinze parcelas 1 x 1m para avaliação do componente de regeneração. *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechmex Moldenke, *Rhizophora mangle* L. e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. exibiram densidade relativa distintas entre as áreas. Manguezais de Antonina e Guaratuba diferiam tanto na estrutura da regeneração natural como no componente arbóreo. A Análise de Coordenadas Principais (PCoA) mostrou que as diferenças entre as áreas em relação às variáveis abióticas do solo estão fortemente relacionadas com os parâmetros estruturais do componente arbóreo dos manguezais. Os fatores edáficos, salinidade e matéria orgânica dos manguezais têm grande importância na separação entre as áreas, já que refletem na capacidade de adaptação das plantas.

Palavras-chave: fitossociologia; mangue; salinidade; solo.

ABSTRACT

We analyzed the structures of two mangrove forests of Paraná (Brazil) (Antonina Bay and Guaratuba Bay), considering adult trees component and regeneration component. In each area, we marked three sub-areas and sampled five plots of 10 x 10 m, equivalent to 0.05 ha to adults trees component and and fifteen 1 x 1m plots to assess the regeneration component. *Avicennia schaueriana* Leechm ex Stapf&Moldenke, *Rhizophora mangle* L. and *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn.f. exhibited relative density between the areas. Mangroves of Antonina and Guaratuba differed both in the structure of natural regeneration as the tree component. The Principal Coordinates Analysis (PCoA) show that differences between areas in relation to abiotic variables of soil are strongly related to the structural parameters of trees. The different types of mangrove soil are the most significant factor in the differentiation between the mangrove areas since influences the salinity values and consequent adaptability of plants.

Keywords: forest structure; mangrove; salinity; soil.

INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros, característicos de regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). No Brasil, sua extensão abrange desde o litoral do extremo Norte (Oiapoque 04°30'N) no Amapá, até a região Sul, em Laguna (28°30'S), Santa Catarina (SCHAEFFER-NOVELLI, 2000). São considerados ambientes produtivos e possuem capacidade de exportação de detritos orgânicos para os sistemas costeiros adjacentes (SCHAEFFER-NOVELLI, 1991).

Apesar dos manguezais serem considerados Áreas de Proteção Permanente pela Lei Federal 4771/65, ainda são bastante intensas as atividades antrópicas. Assim, os estudos sobre a estrutura dos manguezais representam uma ferramenta importante para o entendimento da relação das espécies de mangue com as condições ambientais locais, bem como auxiliar nas ações relacionadas à conservação deste ecossistema (SOARES, 1999). Os manguezais no Estado do Paraná ainda não apresentam um alto grau de degradação como se observa em outros estados brasileiros, mas já existem pressões causadas pela expansão urbana, particularmente do polo portuário de Paranaguá e pela indústria de lazer (LANA, 1998).

Os manguezais são classificados como uma Formação Pioneira de Influência Flúvio-marinha, correspondendo ao “complexo edáfico de primeira ocupação” (IBGE, 1992). Nos manguezais brasileiros ocorrem geralmente quatro espécies (*Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaeuriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, *Avicennia germinans* (L.) Stearn e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. e outros gêneros associados como *Conocarpus* e *Spartina* (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990). Estas espécies compartilham características fisiológicas e adaptações especiais que permitem sua ocorrência em ambientes em constante inundação, com alta salinidade, e em solo não consolidados com baixa oxigenação (KATHIRESAN e BINGHAM, 2001).

Laguncularia racemosa é a espécie dominante nos manguezais paranaenses (BIGARELLA, 1946), enquanto que *Rhizophora mangle* ocorre em manguezais em frente ao mar aberto (MAACK, 1981). No entanto, Sessegolo (1997), estudando os manguezais da ilha das Laranjeiras (Guaraqueçaba-PR) não encontrou um padrão definido de distribuição das espécies. Tais estudos sugerem que há uma heterogeneidade espacial nos mangues paranaenses.

Tal heterogeneidade parece ser uma resposta à interação de vários fatores abióticos (fatores edáficos e salinidade) e antrópicos que atuam em diferentes escalas espaciais e temporais (BERNINI e REZENDE, 2010). Tanto o componente arbóreo quanto o componente de regeneração natural, representado pelas plântulas e indivíduos jovens, podem apresentar respostas aos diferentes fatores abióticos. Individualmente, as espécies diferem quanto ao período de tempo em que seus propágulos permanecem viáveis, no sucesso de estabelecimento, na taxa de crescimento e limites de tolerância à salinidade. Estudos sobre o crescimento das plântulas e a ocorrência dos adultos sugerem que o estabelecimento dos propágulos está relacionado com a tolerância fisiológica das espécies, o tamanho dos propágulos, flutuabilidade e propriedades de dispersão (RABINOWITZ, 1978). Esses fatores interagem para definir a ocorrência dos indivíduos no componente arbóreo, refletindo na distribuição das espécies (KATHIRESAN e BINGHAM, 2001).

Nesse contexto, esse estudo teve como objetivo avaliar comparativamente os parâmetros fitossociológicos da regeneração natural e da vegetação arbórea em dois manguezais distintos, uma pertencente à Baía de Paranaguá (manguezal de Antonina) e outra à Baía de Guaratuba (manguezal de Guaratuba), ambos localizados no estado do Paraná. Para isso, investigamos em quais características abióticas tais áreas diferem e qual a relação dos principais parâmetros fitossociológicos com variáveis ambientais relacionadas às condições edáficas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em duas Baías do Estado do Paraná: Paranaguá e Guaratuba. O município de Antonina localiza-se no extremo oeste da Baía de Paranaguá, com uma área de 460 km². Essa baía sofre forte interferência humana pela ação portuária (Paranaguá e Antonina) e atividades de pesca esportiva. As áreas foram demarcadas na região superior do estuário do Rio Nhundiaquara (Figura 1). A Baía de Guaratuba, com 48,72 km² de extensão compreende áreas de proteção ambiental. As áreas desta baía foram demarcadas na região média do estuário do Rio dos Pinheiros (Figura 1). Nesse rio, existem atividades de cultivo de ostra e navegação de pequenos barcos.

Os dados climáticos foram cedidos pelo SIMEPAR e referem-se ao ano de 2010. Os dados edáficos das áreas estudadas foram obtidos por Boeger et al. (2011) (Tabela 1). Em cada manguezal, foram marcadas três áreas para a realização do levantamento fitossociológico e de regeneração natural (A1, A2 e A3, para Antonina e G1, G2 e G3 para Guaratuba). Para o estudo do componente arbóreo, em cada área foram amostradas cinco parcelas de 10 x 10 m, equivalentes a 0,05 ha (CINTRON e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). A localização das 30 parcelas (15 em cada área) foi aleatória, procurando-se abranger toda a estreita faixa de mangue, paralelas ao corpo hídrico.

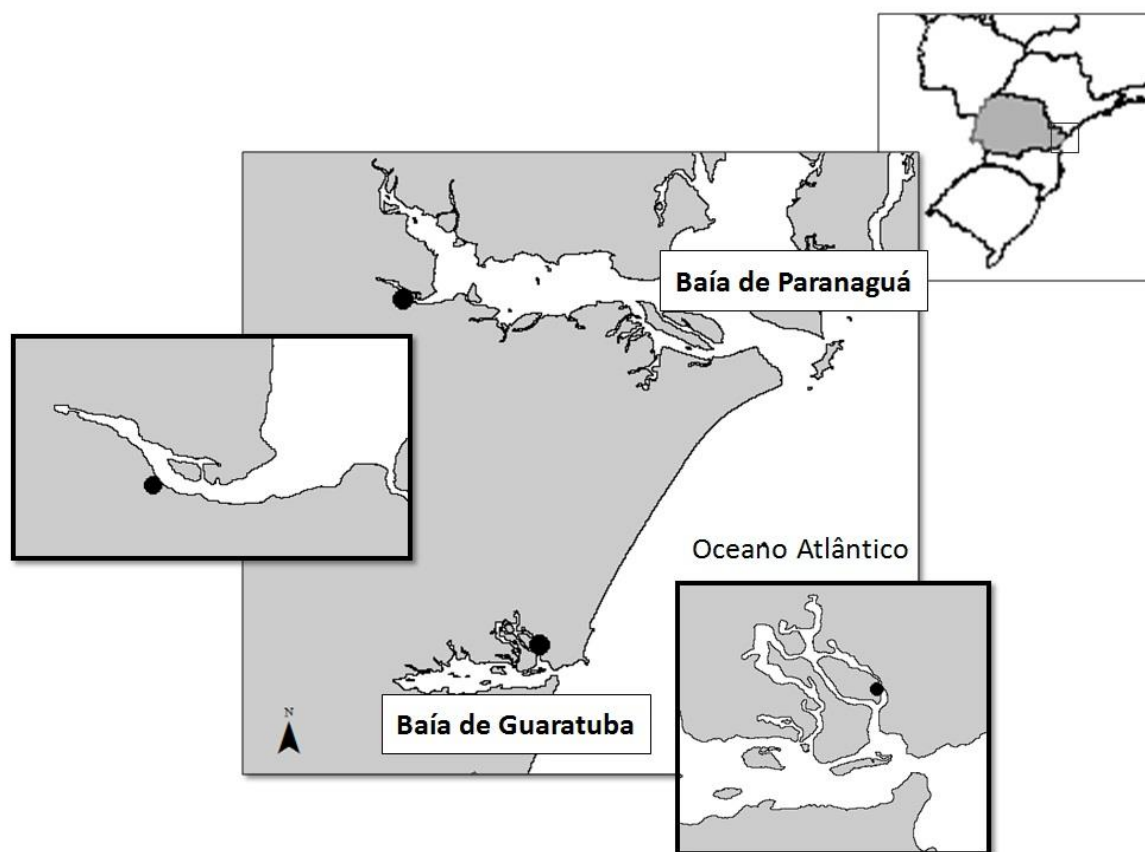


FIGURA 1: Áreas de estudo no manguezal do estuário do Rio Nhundiaquara (Antonina, Paraná, Brasil) e manguezal do estuário do Rio dos Pinheiros (Guaratuba, Paraná, Brasil).
FIGURE 1: Study areas in the mangrove of the estuary of Nhundiaquara River (Antonina, Paraná, Brazil) and mangrove of the estuary of Pinheiros River (Guaratuba, Paraná, Brazil).

TABELA 1: Descrição das variáveis abióticas das áreas de estudo: Antonina e Guaratuba, Paraná, Brasil, para o ano de 2010.

TABLE 1: Description of abiotic variables of the studied areas: Antonina and Guaratuba, Paraná, Brasil, for the period of 2010.

	Antonina			Guaratuba		
	A1	A2	A3	G1	G2	G3
Posição	25°29'S	25°29'S	25°29'S	25°50'S	25°49'S	25°49'S
Geográfica **	48°42'W	48°42'W	48°41'W	48°34'W	48°34'W	48°34'W
Temp. (°C)*	20,5	20,5	20,5	20,8	20,8	20,8
Clima *	Cfa	Cfa	Cfa	Cfa	Cfa	Cfa
Precipitação anual (mm)*	2733	2733	2733	3183	3183	3183
Tipo de solo **	Organossolo tiomórfico sálico sódico	Organossolo tiomórfico sálico sódico	Organossolo tiomórfico sálico sódico	Gleissolo tiomórfico sálico sódico	Organossolo tiomórfico sálico sódico	Gleissolo tiomórfico sálico sódico
Salinidade da água intersticial (%) **	18,6	13,2	19	27,6	22,2	23,4
Potencial redox (mV)**	-339	-347,8	-294,8	-318,6	-308,2	-323,8

*Dados cedidos pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná). ** Boeger et al. (2011)

Para o estudo da regeneração natural, em cada parcela previamente definida para o levantamento fitossociológico do componente arbóreo, foram estabelecidas quinze parcelas com 1 m², dispostas aleatoriamente. Em cada uma das parcelas, além do levantamento florístico, todos os indivíduos até um metro de altura foram identificados e denominados de plântulas. Para cada indivíduo, o comprimento total e o diâmetro da base do caule, com o auxílio de uma fita métrica e um paquímetro, respectivamente foram mensurados. Foram calculados os seguintes parâmetros fitossociológicos: densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR), frequência absoluta (FA) e frequência relativa (FR), de acordo com Mueller-Dombois e Ellenberg (1974).

Para o componente arbóreo, em cada parcela, foram medidos o diâmetro à altura do peito e a altura de todos os indivíduos vivos e mortos em pé com altura superior a um metro. A altura foi estimada com auxílio de vara graduada (em m). O material botânico fértil coletado foi depositado no herbário UPCB, no Departamento de Botânica - UFPR. Foram calculados a densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR), frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), valor de importância (VI) e valor de cobertura (VC) de acordo com Mueller-Dombois e Ellenberg (1974). Os valores de área basal e densidade foram transformados para hectare. Para visualizar as diferenças entre as áreas em relação às variáveis abióticas do solo e aos parâmetros fitossociológicos da vegetação arbórea e da estrutura de regeneração natural entre os manguezais, foram realizadas Análises de Coordenadas Principais (PCoA) (GOWER, 1966). Como o número de variáveis mensuráveis ultrapassava o número de unidades amostrais, optou-se pela PCoA com distância euclidiana. A correlação de Pearson entre as variáveis originais e os escores foi realizada para verificar quais variáveis eram as principais responsáveis pelas diferenças entre os manguezais estudados. As análises foram realizadas usando o Programa "R" (R Development Core Team, 2009) com os pacotes "vegan" (OKSANEN et al., 2008) e "labdsv" (ROBERTS, 2007). Para a construção dos gráficos, foi usado o software STATISTICA (STATSOFT, 2005).

RESULTADOS

Tanto para o componente arbóreo como para a regeneração natural foram identificadas as seguintes espécies: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*.

O número de indivíduos adultos variou entre os manguezais, totalizando 532 na área de Antonina e 475 em Guaratuba. Uma variação acentuada do número de indivíduos entre as áreas amostradas dentro de cada manguezal também foi observada. Por exemplo, houve uma grande variação entre indivíduos de *Avicennia schaueriana* para a área de Guaratuba (130 indivíduos em G1 e 16 indivíduos em G3). Em Antonina, a densidade de *Rhizophora mangle* na área A1 é 2,5 vezes maior em relação a área A3 (Tabela 2). *Avicennia schaueriana* apresentou a maior densidade em G1, enquanto que *Rhizophora mangle* em A1, A2 e G2 e *Laguncularia racemosa* em A3 e G3 (Tabela 3). Entre os manguezais, também não ocorreu um padrão homogêneo: em Antonina, a espécie com maior densidade foi *Laguncularia racemosa*, seguida por *Rhizophora mangle* e *Avicennia schaueriana*. Em Guaratuba, a espécie com maior densidade foi *Avicennia schaueriana*, seguida de *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* (Tabela 2).

TABELA 2: Estrutura do componente arbóreo por espécie e por áreas, nos manguezais de Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3), Paraná, Brasil. DA: Densidade absoluta (n° ind.ha⁻¹), DR: Densidade relativa (%), DoA: Dominância absoluta (g.ha⁻¹), DoR: Dominância relativa (%), FA: Frequência absoluta (%), FR: Frequência relativa (%), VC: Valor de cobertura, VI: Valor de importância.

TABLE 2: Structural parameters for the tree component, by species, from the studied areas: Antonina (A1, A2 and A3) and Guaratuba (G1, G2 and G3), Paraná, Brasil. DA: Densidade absoluta (n° ind.ha⁻¹), DR: Densidade relativa (%), DoA: Dominância absoluta (g.ha⁻¹), DoR: Dominância relativa (%), FA: Frequência absoluta (%), FR: Frequência relativa (%), VC: Coverage value, VI: Importance value.

Espécie	n	DA	DR	DoA	DoR	FA	FR	VC	VI
A1									
<i>Avicennia schaueriana</i>	5	100	2,08	5,4	13,33	1,00	31,25	15,52	48,85
<i>Rhizophora mangle</i>	119	2380	49,58	19,6	48,40	0,40	12,50	98,34	131,67
<i>Laguncularia racemosa</i>	113	2260	47,08	15,2	37,53	1,00	31,25	84,89	118,23
Mortas em pé	3	60	1,25	0,3	0,74	0,80	25,00	-	-
A2									
<i>Avicennia schaueriana</i>	8	160	5,56	17,6	51,34	0,80	21,05	59,21	92,55
<i>Rhizophora mangle</i>	71	1420	49,31	7	20,42	1,00	26,32	70,65	103,98
<i>Laguncularia racemosa</i>	58	1160	40,28	8,2	23,92	1,00	26,32	65,28	98,61
Mortas em pé	7	140	4,86	1,48	4,32	1,00	26,32	-	-
A3									
<i>Avicennia schaueriana</i>	20	400	13,51	14,6	35,21	1,00	25,00	49,65	82,99
<i>Rhizophora mangle</i>	78	920	31,08	11	26,53	1,00	25,00	58,31	91,64
<i>L. racemosa</i>	46	1560	52,70	14,8	35,70	1,00	25,00	89,34	122,67
Mortas em pé	4	80	2,70	1,06	2,56	1,00	25,00	-	-
G1									
<i>Avicennia</i>	130	2600	70,65	46,4	86,15	0,80	25,00	161,17	194,50

<i>schaueriana</i>									
<i>Rhizophora mangle</i>	6	120	3,26	0,062	0,12	1,00	31,25	3,38	36,72
<i>Laguncularia racemosa</i>	31	620	16,85	4,8	8,91	1,00	31,25	26,21	59,54
Mortas em pé	17	340	9,24	2,6	4,83	0,40	12,50	-	-
G2									
<i>Avicennia schaueriana</i>	18	360	11,04	9,2	31,81	0,60	16,67	44,14	77,47
<i>Rhizophora mangle</i>	92	1840	56,44	10,2	35,27	1,00	27,78	93,13	126,47
<i>Laguncularia racemosa</i>	44	880	26,99	8,4	29,05	1,00	27,78	57,21	90,54
Mortas em pé	9	180	5,52	1,12	3,87	1,00	27,78	-	-
G3									
<i>Avicennia schaueriana</i>	16	320	12,50	59	83,71	1,00	29,41	97,03	130,36
<i>Rhizophora mangle</i>	47	940	36,72	2	2,84	1,00	29,41	39,58	72,92
<i>Laguncularia racemosa</i>	58	1160	45,31	8,8	12,49	1,00	29,41	57,92	91,25
Mortas em pé	7	140	7,03	0,68	0,96	0,40	11,76	-	-

Os parâmetros estruturais analisados também apresentaram grande variação entre as duas áreas (Tabela 3). A análise estrutural mostrou que em Guaratuba, *Avicennia schaueriana* obteve a maior altura média, seguida por *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*. Em Antonina, ocorreram os indivíduos mais altos de *Rhizophora mangle*, seguida por *A. schaueriana* e *Laguncularia racemosa*. Em ambos os manguezais, observou-se uma grande variação no DAP dos indivíduos, refletidos pelos altos valores dos desvios-padrão para todas as espécies estudadas (Tabela 3). A Figura 2B mostra a distribuição dos indivíduos em classes de altura, nas duas áreas de estudo, indicando diferenças estruturais entre as áreas. A área basal por espécie e total foi maior em Guaratuba, em função da presença de indivíduos de maior diâmetro nessa área (Figura 2C). A espécie com maior área basal foi *Avicennia schaueriana* nas áreas G1, G3, A2 e A3. Em Antonina, a maior área basal foi registrada para *Rhizophora mangle*, em A1. No entanto, a frequência, por espécie, nas áreas, foi homogênea.

Em Antonina, a espécie com maior número de indivíduos nas classes de menor DAP foi *Laguncularia racemosa*, seguida de *Rhizophora mangle*. Em Guaratuba, a ocorrência de seis indivíduos com diâmetro acima de 30 cm de DAP foi marcante (Figura 2C). Considerando-se todas as espécies, o manguezal de Antonina possui os maiores valores médios de altura e DAP que o manguezal de Guaratuba.

O número de indivíduos foi consideravelmente maior nas primeiras classes de diâmetro (1 a 15 cm), principalmente em A1. O menor DAP foi registrado em *Rhizophora mangle*, com uma grande amplitude de valores, variando de 11,39 cm, em Antonina a 2,41 cm, em Guaratuba. O maior número de indivíduos com DAP até 6 cm foi encontrado nas áreas A1 e G1. Ainda em A1, ocorreu o maior número de indivíduos na classe 18 a 21 cm (Figura 2C). Os maiores valores de DAP foram observados em indivíduos vivos de *Avicennia schaueriana*, nas três áreas de Antonina e nas áreas G2 e G3, e em *Laguncularia racemosa* em G1.

TABELA 3: Valores médios (\pm desvio padrão) de altura (m) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm) do componente arbóreo, por espécie e por área, nos manguezais de Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3), Paraná, Brasil.

TABLE 3: Mean values (\pm standard deviation) of height (Altura, m) and diameter at breast height (DAP, cm) for the tree component, by species, from the studied areas: Antonina (A1, A2 and A3) and Guaratuba (G1, G2 and G3), Paraná, Brazil.

Espécies	A1		A2		A3	
	Altura	DAP	Altura	DAP	Altura	DAP
<i>Avicennia schaueriana</i>	6,04 \pm 4,23	19,75 \pm 19,21	13,11 \pm 1,54	27,35 \pm 23,97	10,3 \pm 4,54	16,02 \pm 14,92
<i>Laguncularia racemosa</i>	5,17 \pm 3,42	7,23 \pm 5,79	6,55 \pm 3,66	7,98 \pm 5,99	7,54 \pm 4,34	7,19 \pm 4,96
<i>Rhizophora mangle</i>	7,43 \pm 4,23	8,21 \pm 6,09	7,04 \pm 4,65	6,28 \pm 4,44	13,33 \pm 1,73	11,39 \pm 4,73
	G1		G2		G3	
<i>Avicennia schaueriana</i>	6,83 \pm 4,44	8,82 \pm 12,19	9,55 \pm 5,49	14,54 \pm 11,42	13,2 \pm 2,15	38,06 \pm 37,32
<i>Laguncularia racemosa</i>	10,91 \pm 2,94	9,12 \pm 4,04	7,87 \pm 3,28	9,82 \pm 4,64	6,78 \pm 2,78	9,13 \pm 5,01
<i>Rhizophora mangle</i>	3,13 \pm 4,48	2,41 \pm 0,60	7,96 \pm 4,15	7,29 \pm 4,43	3,51 \pm 3,63	4,56 \pm 3,93

Árvores mortas em pé foram encontradas em ambas as áreas, com maior número em Guaratuba. O número de árvores mortas em pé variou consideravelmente entre as áreas, sendo que G1 apresentou 5,6 vezes mais árvores mortas em pé do que A1 (Tabela 3).

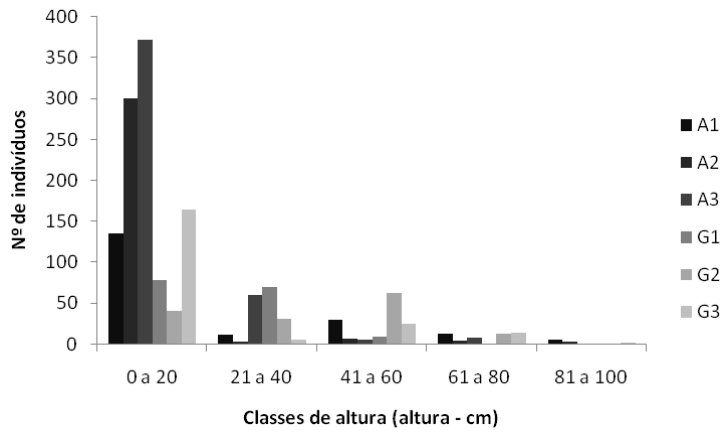
Rhizophora mangle foi a espécie que se destacou com maior densidade, dominância, VC e VI em A1 e A2 (Tabela 2), enquanto que em A3, houve predomínio de indivíduos de *Laguncularia racemosa*, devido aos maiores valores de densidade, dominância, VC e VI. Em Guaratuba, *A. schaueriana* destacou-se com maiores índices em G1 e *Rhizophora mangle* em G2 (Tabela 2). Em G3, apesar de *Laguncularia racemosa* ter maior densidade, *Avicennia schaueriana* teve maior dominância, VC e VI, em decorrência do maior porte (maior área basal, maior DAP) dos indivíduos analisados.

Em Antonina, foram amostradas um total de 966 plântulas, sendo 108 de *Rhizophora mangle*, 857 de *Laguncularia racemosa* e apenas uma de *Avicennia schaueriana*. Em Guaratuba, foram identificadas 521 plântulas, sendo 137 de *Rhizophora mangle*, 200 de *Laguncularia racemosa* e 184 de *Avicennia schaueriana*. *Laguncularia racemosa* apresentou as maiores densidades de plântulas nas áreas A1, A2, A3 e G3 (Tabela 4). *Avicennia schaueriana* apresentou a maior densidade em G1, mas não foi encontrada nas áreas A1 e A2, enquanto que *Rhizophora mangle* teve a maior densidade em G2. As plântulas de *Avicennia schaueriana* foram mais frequentes em G1, *Laguncularia racemosa* em A2 e A3 e *Rhizophora mangle* em A1 e G2 e G3 (Tabela 4).

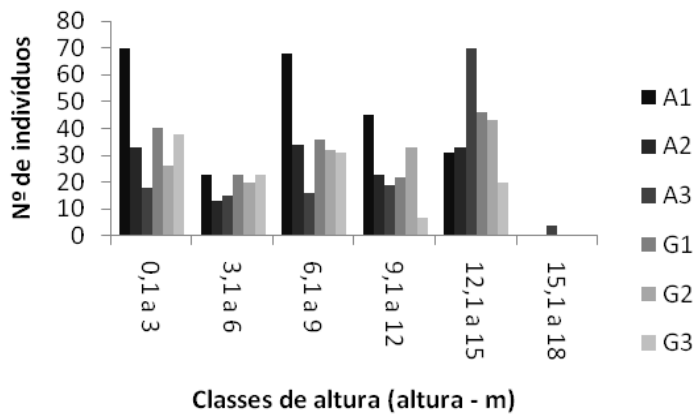
TABELA 4: Parâmetros estruturais do componente de regeneração das áreas estudadas: Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3), Paraná, Brasil. DA: Densidade absoluta (n° ind.ha $^{-1}$), DR: Densidade relativa (%),FA: Freqüência absoluta (%), FR: Freqüência relativa (%).(média \pm desvios-padrão).

TABLE 4: Structural parameters for the regeneration component of the studied areas: Antonina (A1, A2 and A3) and Guaratuba (G1, G2 and G3), Paraná, Brasil. DA: Densidade absoluta (n° ind.ha $^{-1}$), DR: Densidade relativa (%),FA: Freqüência absoluta (%), FR: Freqüência relativa (%).

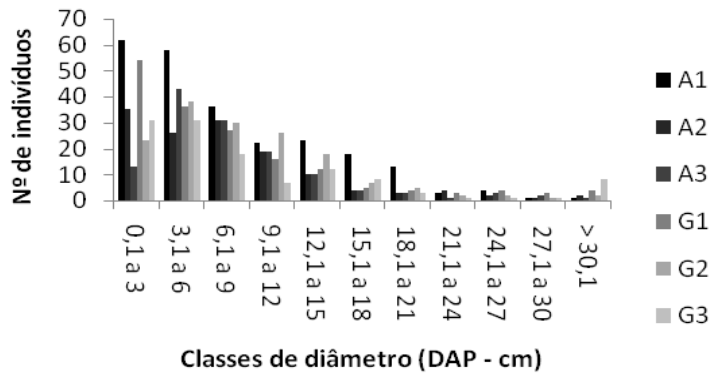
Espécies	DA	DR	FA	FR	DA	DR	FA	FR	DA	DR	FA	FR
	A1				A2				A3			
<i>Avicennia schaueriana</i>	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,06	0,20	0,07	4,55
<i>Laguncularia racemosa</i>	9	68,49	0,60	38,10	20,54	95,98	0,87	68,42	27,6	92,40	1,00	68,18
<i>Rhizophora mangle</i>	4,14	31,51	0,87	61,90	0,86	4,02	0,40	31,58	2,2	7,37	0,40	27,27
	G1				G2				G3			
<i>Avicennia schaueriana</i>	9,6	90,57	1,00	62,50	0,6	6,04	0,33	16,67	2,06	14,51	0,67	30,30
<i>Laguncularia racemosa</i>	0,2	1,89	0,13	8,33	2,06	20,75	0,80	40,00	10,93	76,97	0,67	39,39
<i>Rhizophora mangle</i>	0,67	6,32	0,47	29,17	7,27	73,21	0,87	43,33	1,2	8,45	0,87	30,30
Espécies	Altura		DBC		Altura		DBC		Altura		DBC	
	A1				A2				A3			
<i>Avicennia schaueriana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,30		
<i>Laguncularia racemosa</i>	0,10 \pm 0,12		0,24 \pm 0,25		0,10 \pm 0,01		0,20 \pm 0,00		0,10 \pm 0,01		0,20 \pm 0,00	
<i>Rhizophora mangle</i>	0,51 \pm 0,20		1,43 \pm 0,36		0,57 \pm 0,22		1,40 \pm 0,31		0,41 \pm 0,21		1,23 \pm 0,22	
	G1				G2				G3			
	Altura		DBC		Altura		DBC		Altura		DBC	
<i>Avicennia schaueriana</i>	0,22 \pm 0,08		0,46 \pm 0,14		0,16 \pm 0,04		0,38 \pm 0,07		0,55 \pm 0,19		0,82 \pm 0,27	
<i>Laguncularia racemosa</i>	0,08 \pm 0,03		0,42 \pm 0,04		0,10 \pm 0,05		0,21 \pm 0,05		0,12 \pm 0,06		0,22 \pm 0,10	
<i>Rhizophora mangle</i>	0,52 \pm 0,11		1,41 \pm 0,20		0,47 \pm 0,13		1,24 \pm 0,15		0,54 \pm 0,19		1,38 \pm 0,26	



A



B



C

FIGURA 2: Distribuição de plântulas do componente de regeneração, por classe de altura (A), distribuição de indivíduos adultos vivos do componente arbóreo, por classes de altura (B) e classe de diâmetro (C), nas áreas analisadas: Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3).

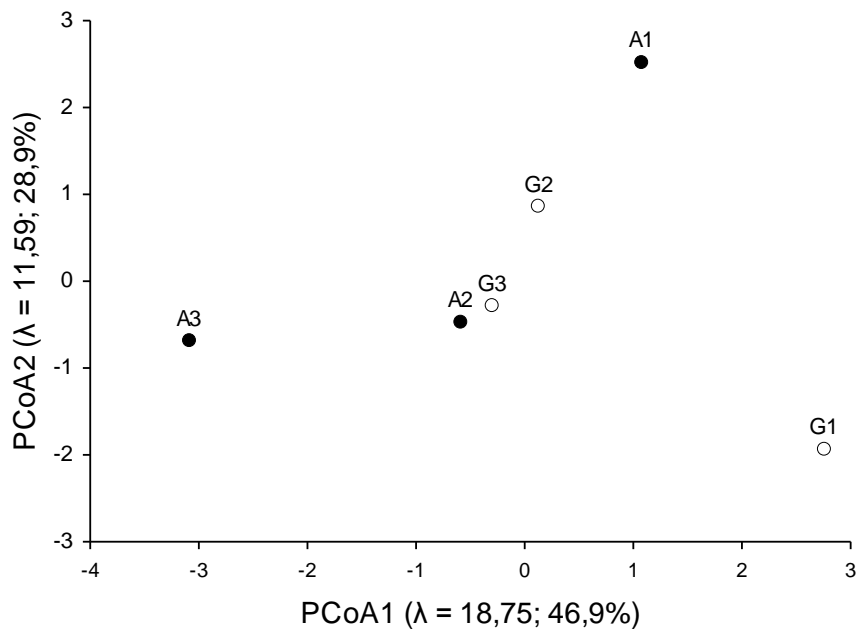
FIGURE 2: Distribution of seedlings from the regeneration component by height class (A), distribution of living adults from tree component by height class (B) and diameter class (C), from the studied areas: Antonina (A1, A2 and A3) and Guaratuba (G1, G2 and G3), Paraná,

Brazil.

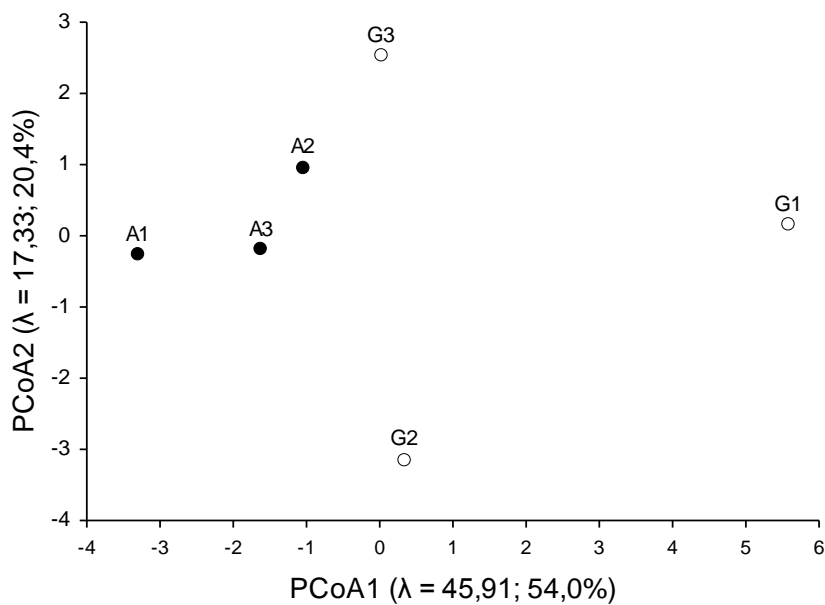
Plântulas de *Rhizophora mangle* apresentaram maior diâmetro e altura, em todas as áreas, com exceção de G3, enquanto que *Laguncularia racemosa* apresentou os menores valores médios, em ambos os manguezais (Tabela 4). A maioria das plântulas de *Rhizophora mangle* apresentou altura entre 61 e 80 cm e *Laguncularia racemosa* até 20 cm de altura. Em relação às classes de altura, em todas as áreas, o maior número de indivíduos ocorreu na classe de 0-20 cm. As exceções foram para A3 e G1 (classe 21 a 40 cm) e em G2 (classe 41-60 cm), onde houve um número superior a 50 indivíduos (Figura 2A).

A PCoA do componente arbóreo (Figura 3B) mostrou que os dois eixos (PCoA1 e PCoA 2) explicaram 74,4% da variância total das características analisadas. PCoA1 foi representada principalmente pela densidade para *Avicennia schaueriana*, densidade e dominância para *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*. A PCoA2 foi representada principalmente pela área basal de *Laguncularia racemosa* (Tabela 5). A análise de PCoA do solo (Figura 3C) mostrou que os dois eixos (PCoA1 e PCoA 2) explicaram 78,8% da variância total das características analisadas. PCoA1 foi representada principalmente pela salinidade. PCoA2 foi representada principalmente pela matéria orgânica (Tabela 5). Segundo essa ordenação, é clara a distinção entre os solos dos manguezais de Antonina e Guaratuba.

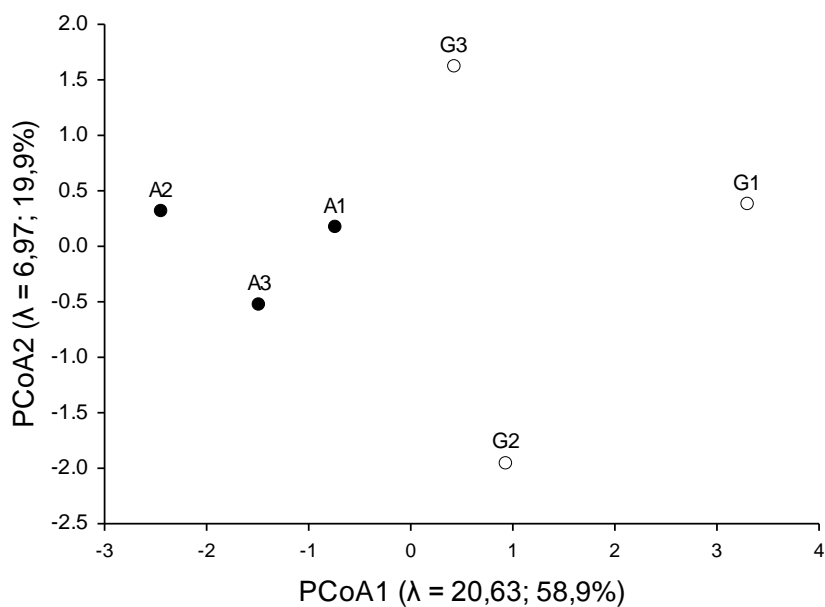
A PCoA sumarizou 75,8% da variância dos atributos fitossociológicos de plântulas, diferenciando mais fracamente os manguezais (Figura 3A). O eixo 1 sumarizou 46,9% da variação dos dados. Nesse caso, os principais atributos responsáveis por essa variação foram DBC e altura de *Rhizophora mangle* e altura e densidade absoluta de *Laguncularia racemosa* (Figura 3A, Tabela 5).



A



B



C

FIGURA 3: ACoP dos parâmetros fitossociológicos da regeneração natural (A), do componente arbóreo (B) e dos atributos pedológicos (C) dos manguezais de Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3). Os autovalores e a respectiva porcentagem estão mostrados no gráfico. Somente as duas primeiras coordenadas são interpretáveis pelo critério de “Broken Stick”.

FIGURE 3: PCoA of phytossociological parameters of natural regeneration (A), tree component (B) and pedological attributes (C) of the mangroves from Antonina (A1, A2 and A3) and Guaratuba (G1, G2 and G3). The eigenvalues and the respective percentage are shown in the graphic. Only the first two coordinates are interpretable by the "Broken Stick" criterion.

TABELA 5: Correlação entre os valores dos atributos fitossociológicos da regeneração natural, do componente arbóreo, do solo e dos escores das duas coordenadas principais entre os manguezais de Antonina e Guaratuba. DAP: Diâmetro altura do peito; DA: Densidade absoluta; DomA: Dominância absoluta; DBC: Diâmetro da base do caule; MO: Matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca catiônica; Eh: Potencial redox.

TABLE 5: Correlation among values of phytosociological parameters of natural regeneration component and tree component, of soil and of scores of the two principal coordinates from the analysis between Antonina and Guaratuba, Paraná, Brasil. Altura: height; DAP: Diameter at breast height; Área Basal: Basal area; DA: Absolute density; DomA: Dominance of the basal area; DBC: Diameter at stem base; MO: Organic matter; CTC: Cation exchange capacity; Eh: Redox potential; Salinidade: Salinity.

Variáveis fitossociológicas do componente de regeneração		Coordenada Principal	
		1	2
<i>Laguncularia racemosa</i>	Altura	-0,901	0,153
	DBC	0,490	0,570
	DA	-0,823	0,347
<i>Rhizophora mangle</i>	Altura	0,675	0,016
	DBC	0,862	0,420
	DA	-0,190	0,778
Variáveis fitossociológicas do componente arbóreo		Coordenada Principal	
		1	2
<i>Avicennia schaueriana</i>	Altura	-0,148	0,388
	DAP	-0,601	0,598
	Área basal	-0,467	0,713
	DA	0,943	-0,044
	DomA	0,674	0,652
<i>Laguncularia racemosa</i>	Altura	0,852	-0,378
	DAP	0,649	-0,442
	Área basal	-0,056	0,829
	DA	-0,925	0,129
	DomA	-0,917	-0,065
<i>Rhizophora mangle</i>	Altura	-0,844	-0,342
	DAP	-0,844	-0,380
	Área basal	-0,899	-0,257
	DA	-0,909	-0,228
	DomA	-0,947	-0,274
Variáveis do solo		Coordenada Principal	
		1	2
	MO	-0,128	-0,944
	CTC	-0,884	-0,245
	Salinidade	0,956	0,077
	Eh	0,296	-0,468

DISCUSSÃO

De acordo com o esperado, três espécies arbóreas ocorrem nos manguezais estudados: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*. Estudos semelhantes relataram a ocorrência destas espécies em toda a faixa de manguezais da costa brasileira, porém, a distribuição destas pode diferir e está relacionada com as condições ambientais e o estabelecimento dos propágulos (BERNINI e REZENDE, 2010; CUNHA-LIGNON, 2001; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990; SOARES, 1999). Segundo a classificação de Schaeffer-Novelli et al. (1990), nos manguezais pertencentes à zona VII, na qual não há ocorrência de outras espécies de mangue, devido às condições climáticas peculiares da região subtropical.

Tanto para plântulas quanto para indivíduos adultos, as espécies do gênero *Avicennia* possuem mecanismos para a sobrevivência em locais com solos altamente salino ou ambientes de baixas temperaturas e são mais tolerantes ao estresse ambiental (PETRI, 2011). Em contra partida, essa espécie é capaz de atingir melhor desenvolvimento em locais com menor alteração ambiental de origem antrópica (CINTRÓN-MOLERO e SCHAEFFER-NOVELLI, 1992). Esse é o caso de Guaratuba, onde ocorrem indivíduos de *Avicennia schaueriana* com maior área basal e maior diâmetro. Outros estudos semelhantes indicaram que essa espécie tem grande tolerância à salinidade, desenvolvendo-se melhor em ambientes com maior salinidade (SERGIO et al., 2006). Vale ressaltar que ambientes de hipersalinidade, no entanto, as espécies tem seu desenvolvimento prejudicado e apresentam menor porte (TWILLEY e CHEN, 1998). Na área de Guaratuba, onde a espécie é dominante, além da maior salinidade na água intersticial, o solo das áreas G1 e G3 apresentou material mineral e horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm.

No componente arbóreo, as diferenças na estrutura entre as áreas parecem estar relacionadas com as diferentes respostas adaptativas que as espécies apresentam ao ambiente em que estão inseridas. A salinidade, uma das principais características do solo responsável pela distinção das áreas (Tabelas 1 e 5), afeta o desempenho das plantas pelo déficit de água, toxidez por íons que provocam desequilíbrio nutricional e indiretamente atua mediando competições interespecíficas (ESTEVEES e SUZUKI, 2008). Silva et al. (2005), estudando mangues do Espírito Santo, registraram árvores de menor porte onde os teores de salinidade eram mais elevados.

Os indivíduos adultos das espécies estudadas apresentam altura e DAP similares aos encontrados por outros estudos da região Sul e sudeste do Brasil (PEREIRA et al., 2009; SESSEGOLO, 1997). Entretanto, esses valores são inferiores aos encontrados em regiões tropicais (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1995). A posição geográfica dos manguezais influencia na estruturação dos bosques de mangue (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990). Ao Norte da costa brasileira, os manguezais são menos escassos e de maior porte, em relação ao sul do país. A diferença entre as populações situadas mais ao norte do Brasil pode ser reflexo de mudanças climáticas ocorridas no Quaternário, período em que eram frequentes as oscilações de temperatura (PIL et al., 2011). Ainda, regiões mais próximas da linha do Equador sofrem maior amplitude de marés e temperaturas (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990), possibilitando o desenvolvimento de indivíduos de maior porte.

Pela análise de PCoA, a densidade absoluta das espécies do componente arbóreo, é um dos parâmetros que mais influencia na separação das áreas, reforçando a relação entre salinidade do solo e a ocorrência das espécies (Tabela 5). *Avicennia schaueriana*, relatada como a espécie mais tolerante à salinidade, tem seu valor de densidade absoluta mais correlacionado com a separação das áreas, assim como a salinidade na análise de solo (Tabelas 5). Smith III (1992) sugere que a baixa densidade de troncos, juntamente com as maiores alturas e alta taxa de área basal viva, caracterizam bosques mais complexos, estruturalmente. Apesar de se observar a baixa densidade de indivíduos, quando comparada com estudos semelhantes (PEREIRA et al., 2009), não é possível afirmar que os bosques de mangue apresentam grande desenvolvimento em termos de altura. O principal indício é a ocorrência de manchas estruturalmente bem desenvolvidas, com alturas médias e DAP superiores ao de outros indivíduos, das três espécies, dentro das áreas, formando um mosaico. Este fato pode explicar a diferença entre as áreas, uma

vez que o tamanho dessas manchas diferem dentro dos manguezais estudados.

A alta variabilidade entre as parcelas do componente de regeneração natural dentro de cada área refletiu na análise de PCoA, que mostrou de maneira mais fraca as diferenças entre os manguezais estudados, quando comparada com o análise do componente arbóreo.

Enquanto as plântulas de *Laguncularia racemosa* são mais abundantes e bem desenvolvidas no manguezal de Antonina, indivíduos jovens de *Rhizophora mangle* se destacam por apresentarem maior porte em Guaratuba. A localização das áreas de estudo parece influenciar o estabelecimento de novos propágulos e conseqüentemente, ocasiona diferenças na ocorrência das espécies no componente de regeneração. O manguezal de Antonina, localizado mais internamente no estuário, com maior aporte de matéria orgânica e mais protegida em relação ao manguezal de Guaratuba, que se localiza mais próximo da desembocadura da Baía de Guaratuba, estando sujeita à ação das correntes de marés. O tamanho dos propágulos e a flutuabilidade são fatores determinantes para o estabelecimento e desenvolvimento dos manguezais (CUNHA-LIGNON, 2006). Em áreas mais internas da baía, é mais difícil haver a dispersão de propágulos maiores, como de *Rhizophora mangle*, enquanto que em áreas mais permanentemente inundadas, o estabelecimento de propágulos maiores é favorecido (RABINOWITZ, 1978).

A grande ocorrência de plântulas de *Laguncularia racemosa*, em Antonina, também pode ser explicada pelo sucesso no estabelecimento, pois apresentam rápido enraizamento e baixa sensibilidade à ação da maré (DELGADO et al., 2001) e benefício no desenvolvimento pelo aporte extra de matéria orgânica (PERGENTINO et al., 2005). Além disso, estudos de regeneração em manguezais reportam maior número de plântulas em ambientes mais impactados, como no caso da área de Antonina, a qual possui histórico de intervenção antrópica como as atividades portuárias, derramamento de óleo, dragagem, esgoto doméstico, entre outros (NOERNBERG et al., 2008).

A baixa frequência de plântulas de *Avicennia schaueriana* em Antonina parece ser influenciada pelo número reduzido de indivíduos adultos encontrados, ou ainda, ao padrão de dispersão da espécie. Em geral, a distribuição das plântulas de *Avicennia schaueriana* ocorre ao redor de árvores adultas e em depressões protegidas do movimento de água, limitando o seu estabelecimento em regiões com menor influência da maré (DELGADO et al., 2001).

Assim como relatado por outros autores (BERNINI e REZENDE, 2004; 2010; SILVA et al., 2005), estudos fitossociológicos em áreas de manguezais são importantes para estabelecer estratégias de manejo e conservação deste ecossistema. De acordo com os resultados encontrados, áreas geograficamente próximas apresentaram uma variabilidade na vegetação em decorrência das diferentes características ambientais. A salinidade e a matéria orgânica são os atributos do solo que diferenciaram os manguezais de Antonina e Guaratuba em dois grupos, influenciando no perfil estrutural da vegetação, de forma que a densidade e altura das espécies diferiram entre as áreas estudadas. Os resultados refletem as particularidades dos manguezais estudados, ressaltando a necessidade de ações específicas de manejo e conservação deste ecossistema.

O manguezal de Antonina diferiu estruturalmente do manguezal de Guaratuba, tanto no componente de regeneração natural quanto no componente arbóreo. A maior salinidade no manguezal de Guaratuba e o maior teor de matéria orgânica no manguezal de Antonina foram as características edáficas que mais contribuíram na diferenciação entre os dois manguezais.

AGRADECIMENTOS

À Petrobras e Fundação Araucária (Convênio 412/09 protocolo 12499) pelo apoio financeiro. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (301561/2010-9) concedida à segunda autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNINI, E.; REZENDE, C.E. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta bot. Bras.**, Feira de Santana, v.18, n.3, p.491-502, 2004.
- BERNINI, E.; REZENDE, C.E. Variação estrutural em florestas de mangue do estuário do rio Itabapoana, ES-RJ. **Biotemas**, Florianópolis, v.23, n.1, p.49-60, 2010.
- BIGARELLA, J.J. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. **Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.1, p.75-111, 1946.
- BOEGER, M. R. T. et al. Diagnóstico da vegetação de manguezal. In: Ostrensky, A. (Org.). **Diagnóstico ictiofaunístico em ambientes afetados por vazamento de óleo na Serra do Mar, no estado do Paraná**. Curitiba: FUNPAR, 2011. p. 1-184.
- CITRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la ecología del manglar**. San Juan:Rostlac, 1983. 109p.
- CINTRÓN-MOLERO, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Ecology and management New World mangroves.. In: SEELIGER, U. (Ed.). **Coastal Plant Communities of Latin América**. San Diego: Academic Press. 1992. p. 233-258
- CUNHA-LIGNON, M. **Dinâmica do manguezal no Sistema de Cananéia- Iguape, Estado de São Paulo – Brasil**. 2001. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- CUNHA-LIGNON, M. **Variação espaço-temporal de bosques de mangue III** Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. 2006. 5p.
- DELGADO, P. et al. The importance of propagule establishment and physical factors in mangrove distributional patterns in a Costa Rican estuary. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v.71, p.157-178, 2001.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI. 2009. 412p.
- ESTEVES, B. dos S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecol. Bras.**, Rio de Janeiro, v.12,n.4, p. 662-679, 2008.
- GOWER, J. C. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. **Biometrika**, Oxford, v.53, p.325-338, 1966.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: IBGE. 1992. p. 9-38.
- LANA, P. C. Manguezais: diagnóstico, conflitos e prognósticos. In: LIMA, R.E; NEGRELLE, R. (Eds.). **Meio Ambiente e desenvolvimento no litoral do Paraná**. Diagnóstico. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná. 1998. p.105-118.
- KATHIRESAN, K.; BINGHAM, B.L. Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems. **Advances in Marine Biology**, Plymouth, v.40, p.81-251, 2001.
- MAACK, R. 1981. Geologia e Geografia da região de Vila Velha, Estado do Paraná e considerações sobre a glaciação carbonífera no Brasil. **Arquivos do Museu Paranaense**, Curitiba, v.5, p.1-46, 1946.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. New York: Wiley. 1974. 574p.
- NOERNBERG, M.A. et al. Determinação da sensibilidade do litoral paranaense à contaminação por óleo. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v.12, n.2, p.49-59, 2008.
- OKSANEN, J. et al. 2008. **Vegan: Community Ecology Package**. R package version 1.15-1. <http://cran.r-project.org/>, <http://vegan.r-forge.r-project.org/>
- PEREIRA, F.V. et al. Estrutura da vegetação em duas áreas com diferentes históricos de antropização no manguezal de Anchieta, ES. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, Maranhão, v.22, p.1-8, 2009.

- PERGENTINO, T.C; LANDIM, M.F. Distribuição espacial de plântulas de espécies arbóreas de manguezais. In: **VII Congresso de Ecologia do Brasil**, Minas Gerais. 2005. Disponível em <http://www.seb-ecologia.org.br/viiceb/listaresumo.html> (acesso em 10/04/2010).
- PETRI, D. J. C. et al. Distribuição das espécies e estrutura do manguezal do rio Benevente, Anchieta, ES. **Biota Neotropica**, Campina, v.11, n.3, p. 107-116, 2011.
- PIL, M. W. et al. Postglacial north-south expansion of populations of *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) along the Brazilian coast revealed by microsatellite analysis. **American Journal of Botany**, St. Louis, v.98, n.6, p.1031-1039, 2011.
- R Development Core Team. 2009. **R version 2.9.0.P Project for Statistical Computing**, Vienna, Austria. (www.r-project.org)
- RABINOWITZ, D. Early growth of mangrove seedlings in Panamá, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 5, p.113-133, 1978.
- ROBERTS, D.W. 2007. **Labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology**. R package version 1.3-1, URL <http://CRAN.R-project.org/package=labdsv>.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Variability of the mangroves ecosystem along the Brazilian coast. **Estuaries**, Port Republic, v.13, n.2, p.201-218, 1990.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezais brasileiros**. 1991. 42p. Tese de Livre Docência. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. São Paulo, Caribbean Ecological Research. 1995. 64p.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum**. São Paulo: Caribbean Ecological Research. 2000. 119p.
- SÉRGIO, C. et al. Caracterização morfofisiológica do manguezal de Cananéia – SP. In: Environmental and Health World Congress, **Anais**. Santos: 2006.
- SESSEGOLO, G.C.S. **Estrutura e produção de serapilheira do manguezal do Rio Baguaçu, Baía de Paranaguá-PR**. 1997. 130p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1997.
- SILVA, M.A.B.; BERNINI, E.; CARMO, T.M.S. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v.19, n.3, p.465-471, 2005.
- SMITH III, T. J., Forest Structure. In: ROBERTSON, A. I.; ALONGI, D. M. (Eds.). **Coastal and Estuarine Studies**. Washington D.C.: American Geophysical Union, 1992. p.101-136.
- SOARES, M.L.G. 1999. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v.59, n.3, p.503-515, 1999.
- STATSOFT Inc., 2005. **STATISTICA** (data analysis software system) version 7.1 for Windows: statistics. STATSOFT, Inc., Tulsa, USA.
- TWILLEY, R.R., CHEN, R. A water budget and hydrology model of a basin mangrove forest in Rookery Bay, Florida. **Marine and Freshwater Research**, Melbourne, v.49, p.309-323, 1998.

ARTIGO 2

Composição química do solo e eficiência de uso de nutrientes das espécies do manguezal de Guaratuba, Paraná, Brasil

Chemical composition of the soil and nutrient use efficiency of mangrove species in Guaratuba, Paraná, Brazil.

Resumo

A composição química do solo e das folhas de *Avicennia schaueriana* Stapf & Leachman, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L. e a respectiva eficiência de utilização de nutrientes (EUN) pelas espécies foram analisadas no manguezal de Guaratuba, estado do Paraná. Na área foram marcados dez indivíduos, por espécie, para a coleta do material foliar. Foram coletadas amostras de solo de 0-10 cm, na projeção da copa das árvores selecionadas. Os atributos do solo pouco diferiram entre as espécies, com exceção aos valores de C, N e MO. As três espécies estudadas apresentaram concentrações foliares de nutrientes distintas, mostrando, dessa forma, a absorção seletiva, ainda que compartilhando o mesmo solo. O perfil nutricional obedeceu a seguinte ordem $N > K > S > Mg > Na > Ca > P$ para *A. schaueriana*; $Ca > N > Na > S > K > Mg > P$ para *L. racemosa*; $N > Ca > Na > K > S > Mg > P$ para *R. mangle*. De forma geral, em ordem crescente de eficiência de uso dos nutrientes, tem-se *L. racemosa* > *R. mangle* > *A. schaueriana*. Estes resultados sugerem que as espécies estudadas apresentam estratégias diferenciadas quanto ao acúmulo e utilização dos nutrientes, e que, nem sempre o maior acúmulo de determinado nutriente significa uma menor eficiência no seu uso, particularmente em função das várias estratégias utilizadas pelas plantas para a manutenção do equilíbrio iônico.

Palavra-chave: mangue, solo, plantas

Abstract

The chemical composition of soil and leaves of *Avicennia schaueriana* Stapf & Leachman, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L., and the respective nutrient use efficiency (NUE), were analysed in the mangrove of Guaratuba, Paraná State. In the study area ten individuals for each species were marked for leaf sampling. Samples from the soil were also collected at 0 – 10 cm depth under the crown projection of the selected trees. The analysed soil attributes, except C, N and O.M., did not differ among species. The three studied species presented different leaf nutrient concentrations, showing selective absorption, even sharing the same soil. The nutritional profile obeyed the following order: $N > K > S > Mg > Na > Ca > P$ for *A. schaueriana*; $Ca > N > Na > S > K > Mg > P$ for *L. racemosa*; $N > Ca > Na > K > S > Mg > P$ for *R. mangle*. In general and in ascending order the nutrient use efficiency obeyed following: *L. racemosa* > *R. mangle* > *A. schaueriana*. The results suggests that the studied species show differentiate strategies in relation to accumulation and utilization of the nutrients, and, not necessarily, the greater amount accumulated means lower nutrient use efficiency, particularly in view of the various strategies utilized by the plants for ionic equilibrium maintenance.

Keyword: mangrove, soil, plant

INTRODUÇÃO

De importância social, econômica e ecológica reconhecida, os manguezais são ecossistemas costeiros de transição entre ambientes marinhos e terrestres. Sua vegetação apresenta adaptações específicas as quais permitem o desenvolvimento em um ambiente com alta salinidade, periodicamente inundado pela maré, baixa oxigenação e solo lodoso (Ball, 1988; Tue et al., 2012).

Apesar da baixa diversidade de espécies arbóreas, os manguezais estão entre os ambientes mais produtivos do mundo (Jennerjahn & Ittekkot, 2002), os quais contribuem no controle da erosão costeira (Alongi, 2008), servem de habitat para o crescimento e refúgio de diversas espécies de animais (Schaeffer-Novelli, 2000) e participam da ciclagem de nutrientes (Reef et al., 2010; Cuzzuol & Rocha, 2012).

No Brasil, são encontradas três famílias Rhizophoraceae, Verbenaceae, Combretaceae com quatro gêneros e sete espécies (Schaeffer-Novelli et al., 1990). Nos manguezais do sul do Brasil, ocorrem apenas três espécies: *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leachman.

Diversos estudos apontam que existe correlação entre o crescimento das plantas de mangue e as propriedades do solo onde estas se desenvolvem, apresentando certo zoneamento das espécies de acordo com as características físico-químicas do solo (Bernini et al. 2010; Cuzzuol & Rocha, 2012). A salinidade, frequência e duração das marés e o potencial redox estão entre os fatores que mais parecem influenciar no crescimento das plantas de mangue (Vidal-Torrado et al., 2005).

As espécies de mangue apresentam, de forma geral, um bom desenvolvimento quando localizadas em solos com características específicas, sem limitações nutricionais (Reef et al., 2010). Por exemplo, o solo em que crescem indivíduos de *R. mangle*, comumente apresentam valores de pH elevados, altos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C). Esses indivíduos estão presentes, preferencialmente, às margens dos rios onde o aporte de nutrientes é elevado. Indivíduos de *L. racemosa* desenvolvem-se bem nos mais diversos tipos de solos, desde arenosos a argilosos, localizados principalmente onde a frequência e a intensidade das marés são menores. Já *A. schaueriana* parece necessitar da presença de água salobra para o seu desenvolvimento,

sendo que essa espécie parece se adaptar melhor à ambientes com menor frequência de inundações (Vidal-Torrado et al., 2005).

As espécies vegetais de mangue parecem apresentar alta plasticidade na utilização das diferentes formas iônicas resultantes dos processos de oxidação, redução e variações de salinidade do solo (Reef et al., 2010). Além disso, uma das causas para a variabilidade de nutrientes, além da composição química do solo, é a distribuição irregular dos mesmos na forma livre e particulada pela ação das marés (Ball, 1988).

Muitos estudos em manguezais têm destacado a limitação do crescimento das espécies vegetais associada à deficiência de N e P (Ball, 1988; Feller et al., 2003; Reef et al., 2010). Além dessa limitação, a alta salinidade é um condicionante de estresse em manguezais (Ball, 1988), onde o desequilíbrio da relação K/Na é mais prejudicial que a própria salinidade imposta pelo NaCl (Ball, 1988). Neste sentido, a produtividade contrasta com a limitação nutricional, o que tem estimulado muitos estudos (Reef et al., 2010), principalmente porque a disponibilidade dos nutrientes varia tanto entre quanto dentro dos manguezais (Feller et al., 2003).

As plantas absorvem nutrientes em quantidades diferenciadas (Mengel, 1984). As quantidades absorvidas nem sempre se revertem, proporcionalmente, em produção de biomassa, podendo facilmente atingir o consumo de luxo (Hawkesford et al., 2012). Assim, o emprego do índice de eficiência do uso de nutrientes (EUN) é considerado um importante recurso de avaliação ecológica, pois integra um grande número de processos fisiológicos (Hawkesford et al., 2012) e avalia como os nutrientes absorvidos pelas plantas são utilizados na produção de biomassa (Alongi, 2009). Dada essa importância, a EUN tem sido associada ao índice de eficiência do uso da água em manguezais, pois permite um melhor entendimento dos processos fisiológicos comparados com resultados de campo onde a salinidade é altamente variável (Sobrado, 2005).

O desenvolvimento das espécies vegetais nos manguezais requer que as mesmas apresentem uma eficiente estratégia de ciclagem, conservação e eficiência no uso dos nutrientes (Reef et al., 2010; Flowers et al., 2010). Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar a composição química das espécies arbóreas do manguezal de Guaratuba-PR e a sua relação com o solo onde elas estão inseridas, bem como a sua eficiência de uso do nutriente (EUN).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido nos manguezais da Baía de Guaratuba-PR, que é o segundo maior complexo estuarino do litoral paranaense, com 48,72 km². A área de estudo compreende a região média do estuário do Rio dos Pinheiros (Figura 1) e apresenta as seguintes coordenadas 25°49'S e 48°34'W. O Clima é classificado como Cfa, sub-tropical úmido e mesotérmico, de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação anual média é 3183 mm com temperatura média no inverno de 14,5°C e no verão de 29,6°C. Os dados de precipitação e temperatura referem-se ao ano de 2010 e foram cedidos pela estação de Paranaguá do Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar). O solo é classificado como Gleissolo tiomórfico sálico sódico (Embrapa, 2006).

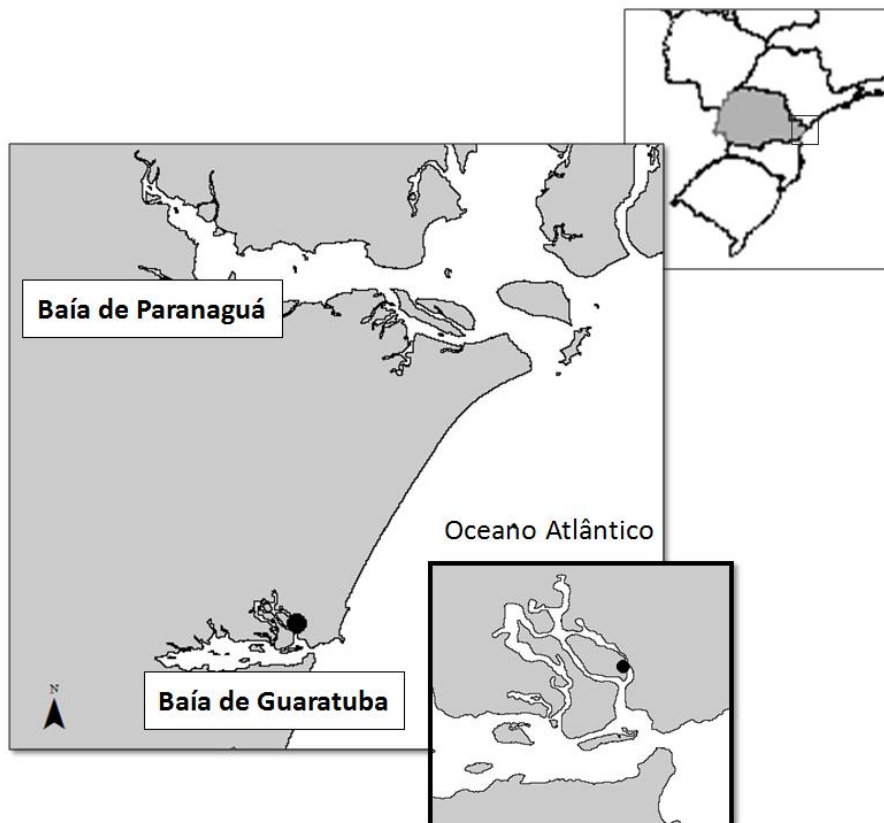


Figura 1. Área de estudo analisada no manguezal do estuário do Rio dos Pinheiros (Guaratuba, Paraná, Brasil).

Coleta do material

No manguezal estudado foi estabelecida uma área de 1000 m² paralela ao corpo hídrico, onde dez indivíduos dominantes foram amostrados, de *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*. As folhas de cada indivíduo foram coletadas na parte mediana externa da copa com exposição norte. A coleta do material foliar ocorreu em julho de 2010, com o auxílio de um podão. O material vegetal previamente lavado foi moído a pó e submetido à digestão nitro-perclórica. Os elementos P, K, Ca, Mg, Na e S foram determinados por espectrometria de emissão óptica de plasma de argônio (ICP OES). O N foi determinado pelo método de Kjeldahl.

Para fins de correlação entre o solo e as plantas, amostras de solo de 0-10 cm, de quatro pontos, na projeção da copa das árvores selecionadas foram coletadas com auxílio de um tubo de PVC com 10 cm de diâmetro. A coleta de solo ocorreu no mês de junho de 2010. As amostras, após secas ao ar, foram destorroadas e peneiradas, obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA), ou seja, com diâmetro < 2mm. As análises foram efetuadas para pH _{CaCl₂}, P, K, Ca, Mg, Na e alumínio (Al) de acordo com o Manual de Métodos de Análise do Solo da Embrapa. A determinação de C e N foi por combustão em analisador elementar, marca Elementar, modelo VARIO-EL III.

Para testar o caráter tiomórfico, amostras do solo foram incubadas por 8 semanas a fim de comparar a evolução do pH inicial e final (Embrapa, 2006).

Análise de dados

Para testar se as espécies de mangue apresentam perfis nutricionais distintos e se há correlação entre os atributos do solo com a composição química foliar, análises multivariadas e univariadas foram realizadas. As análises multivariadas são representadas por três agrupamentos hierárquicos, um para cada espécie. Os dendrogramas foram gerados mediante a matriz de nutrientes determinados nas folhas (N, P, Ca, Mg, K, S e Na) e dos atributos pedológicos (pH, Ca, Mg, K, P, N, C, Na, Condutividade e CTC). A distância utilizada foi *Squared Euclidean* e o método de ligação *Farthest Neighbor* (McCune & Grace, 2002). O coeficiente de correlação cofenético foi calculado para cada um dos agrupamentos, com a finalidade de verificar o

grau de deformação provocado quando da construção do dendrograma Neste estudo os três coeficientes foram maiores que 0,9 (*A. shaueriana*: 0,92; *L. racemosa*: 0,95 e *R. mangle*: 0,97). Os cortes nos dendrogramas foram efetuados no ponto 10 do eixo y, pois neste ponto a informação remanescente foi superior a 75% para os três dendrogramas.

As análises univariadas testaram a resposta das variáveis mensuradas em função das espécies, mediante análise de variância com um fator (*one-way* ANOVA). O teste de Fisher LSD a 5% de significância procedeu à ANOVA. As premissas foram checadas mediante o teste de Bartlett a 5% (homogeneidade de variâncias) e a gaussianidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, também a 5% (Zar, 1999). Correlações de Pearson checaram as relações entre as variáveis medidas. Todas as análises foram efetuadas com o auxílio do programa Statgraphics Plus 5.1 e Past 2.0.

Para testar a eficiência de utilização de nutrientes pelas espécies foi aplicado o índice (EUN) que leva em consideração a razão entre a massa de cem folhas pela quantidade de nutriente nela contida, como estimativa da produção de biomassa (Barros et al.,1986; Swiader et al., 1994).

RESULTADOS

O valor de pH do solo foi bastante ácido, sem diferença interespecífica entre os solos sob as espécies estudadas (Tabela 1). A condutividade elétrica não apresentou diferença significativa entre os solos sob as espécies. Os altos valores de condutividade elétrica ($> 7\text{dSm}^{-1}$ a 25°C), na área do estudo, conferiu ao solo o caráter sálico. Os elevados teores de Na, no manguezal estudado, caracteriza o caráter sódico (definido pela fórmula $100 \text{Na}^+/\text{T} \geq 15 \%$), na classificação do solo (Tabela 1).

A análise química do solo coletado mostrou que nas amostras sob *L. racemosa* e *R. mangle*, houve um aumento na SB (soma de bases) e CTC, determinado pelos altos valores de bases trocáveis (K, Ca e Mg). O manguezal apresentou altos valores de MO e diferenciou-se estatisticamente entre os solos de *A. shaueriana* e *L. racemosa* com o solo de *R. mangle* (Tabela 1). Da mesma forma, teores de C e N apresentaram o mesmo padrão que MO.

Tabela 1 Características químicas do solo, sob as espécies *A. shaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, no manguezal de Guaratuba, em profundidade 0-10 cm.

	Espécies		
	<i>A. shaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>
pH CaCl₂	5,19±1,27a	5,26±1,30a	5,16±0,70a
Ca cmol_cdm⁻³	4,93±1,23a	5,39±1,29a	5,78±1,52a
Mg cmol_cdm⁻³	5,01±0,17a	5,11±0,07a	5,18±0,15a
K cmol_cdm⁻³	1,5±0,31a	1,5±0,30a	1,6±0,17a
P ppm	33,82±11,71a	36,57±14,31a	38,12±9,96a
N gdm⁻³	3,17±0,73b	3,55±0,55b	4,07±0,72a
C gdm⁻³	53,95±9,67b	59,77±9,75b	70,99±14,09a
Na cmol_cdm⁻³	27,42±3,82a	27,72±4,33a	28,44±3,35a
Cond. dSm⁻¹	14,35±2,89a	13,88±2,06a	14,09±2,17a
C/N	17,40±2,44a	16,97±2,33a	17,45±2,17a
MO	9,28±1,66b	10,28±1,68b	12,21±2,42a
SB	38,85±5,1a	39,71±5,69a	40,99±4,04a
CTC	44,32±4,64a	45,68±4,87a	46,22±3,44a

Teste Fisher LSD (p<0,05). Valores com letra minúscula diferentes, na mesma linha na mesma área, são estatisticamente diferentes.

Em termos de concentração nos tecidos foliares pode-se resumir o seguinte perfil nutricional N > K > S > Mg > Na > Ca > P para *A. shaueriana*; Ca > N > Na > S > K > Mg > P para *L. racemosa*; N > Ca > Na > K > S > Mg > P para *R. mangle* (Tabela 2).

Tabela 2 Valores médios da concentração de macronutrientes nas folhas das espécies estudadas, no manguezal de Guaratuba.

	Espécies		
	<i>A. shaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>
N(g kg⁻¹)	22,23±1,51a	13,3±1,01c	18,89±1,91b
K(g kg⁻¹)	13,09±1,02a	5,50±1,06b	6,70±1,13b
P(g kg⁻¹)	1,63±0,29a	1,34±0,15b	1,36±0,07b
Ca(g kg⁻¹)	4,86±0,42c	16,43±2,23a	10,34±3,18b
Mg(g kg⁻¹)	9,71±0,99a	4,10±0,38b	4,40±0,85b
S (g kg⁻¹)	10,23±3,91a	5,83±2,57b	4,91±1,05b
Na(g kg⁻¹)	8,39±0,62a	6,83±0,38b	7,05±0,77b

Teste Fisher LSD ($p < 0,05$). Valores com letra minúscula diferentes, na mesma linha na mesma área, são estatisticamente diferentes.

As três espécies se diferenciam significativamente em relação a concentração de N, na seguinte ordem: *A. schaueriana* > *R. mangle* > *L. racemosa* (Tabela 2). Em termos de valores médios, o S apresentou o mesmo padrão do gradiente de concentração do N, na área investigada. Em *A. schaueriana*, observou-se maior valor para K foliar e P foliar. Esses valores decrescem significativamente para as outras espécies (Tabela 2).

Os teores de Ca nas folhas das espécies apresentaram diferenças significativas entre as espécies estudadas. Com exceção aos demais elementos, as folhas de *A. schaueriana* apresentaram menores teores desse nutriente, sendo esse valor 3,3 vezes menor que o encontrado nas folhas de *L. racemosa*. O teor de Mg foliar foi significativamente diferente em *A. schaueriana* em relação as demais espécies, que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 2).

A maior eficiência em termos de EUN foi observada em *L. racemosa* para N e K. *Avicennia schaueriana* foi mais eficiente na utilização de Ca (Tabela 3).

Tabela 3 Eficiência de Uso dos Nutrientes (EUN) calculada para as folhas das espécies estudadas, no manguezal de Guaratuba.

	Elementos						
	N	K	P	Ca	Mg	S	Na
<i>A. schaueriana</i>	45,2 c	90,51 c	629,4 b	207,2 a	103,9 b	111,7 b	119,7 b
<i>L. racemosa</i>	75,6 a	187,2 a	753,9 a	62,0 c	245,8 a	208,6 a	146,7 a
<i>R. mangle</i>	53,5 b	153,2 b	737,0 a	103,7 b	234,8 a	211,7 a	143,4 a

A Tabela 4 apresenta as correlações de Pearson para alguns nutrientes foliares e do solo das três espécies. Valores positivos entre Na solo e K solo foram observados para todas as espécies. Observa-se, no entanto, que a maioria dos elementos não apresenta correlação entre concentração na planta e no solo.

Tabela 4 Correlação de Pearson para os nutrientes foliares e do solo das espécies estudadas, no manguezal de Guaratuba (p<0,05; ns = não significativo)

<i>A. schaueriana</i>																	
	pH	Ca	Mg	K	P	N	C	Na	Cond.	CTC	N _p	P _p	K _p	Ca _p	Mg _p	S _p	Na _p
pH	1	0,87	ns	0,66	0,79	ns	ns	0,53	ns	ns	ns	ns	-0,64	0,63	ns	-0,78	ns
Ca		1	ns	0,79	0,74	0,75	ns	0,69	ns	ns	ns	ns	0,82	0,82	ns	0,74	ns
Mg			1	0,69	ns	0,71	0,78	0,75	ns	0,82	ns	ns	ns	ns	-0,65	ns	ns
K				1	0,79	0,96	0,70	0,91	ns	0,75	ns	ns	ns	0,75	ns	-0,90	ns
P					1	0,69	ns	0,69	0,76	ns	ns	ns	-0,67	0,82	ns	-0,81	ns
N						1	0,84	0,97	ns	0,79	ns	ns	ns	0,72	ns	-0,84	ns
C							1	0,80	ns	0,84	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Na								1	ns	0,81	ns	ns	ns	0,70	ns	-0,83	ns
Cond.									1	ns	ns	ns	ns	0,79	ns	ns	ns
CTC										1	ns	ns	ns	0,70	ns	ns	ns
N _p											1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P _p												1	ns	ns	ns	ns	ns
K _p													1	ns	ns	0,69	ns
Ca _p														1	ns	-0,73	ns
Mg _p															1	ns	ns
S _p																1	ns
Na _p																	1

<i>L. racemosa</i>																	
	pH	Ca	Mg	K	P	N	C	Na	Cond.	CTC	N _p	P _p	K _p	Ca _p	Mg _p	S _p	Na _p
pH	1	ns	ns	0,70	0,94	ns	ns	0,69	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,57	ns
Ca		1	0,64	0,80	ns	ns	ns	0,73	ns	0,66	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg			1	0,67	ns	ns	ns	0,69	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K				1	0,76	ns	ns	0,94	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P					1	ns	ns	0,76	ns	ns	0,53	ns	ns	ns	ns	-0,54	ns
N						1	0,64	ns	ns	0,83	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C							1	ns	ns	0,62	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Na								1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cond.									1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC										1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N _p											1	0,71	ns	ns	ns	ns	ns
P _p												1	0,73	ns	ns	ns	ns
K _p													1	ns	ns	ns	ns
Ca _p														1	ns	ns	ns
Mg _p															1	ns	ns
S _p																1	0,75
Na _p																	1

R. mangle

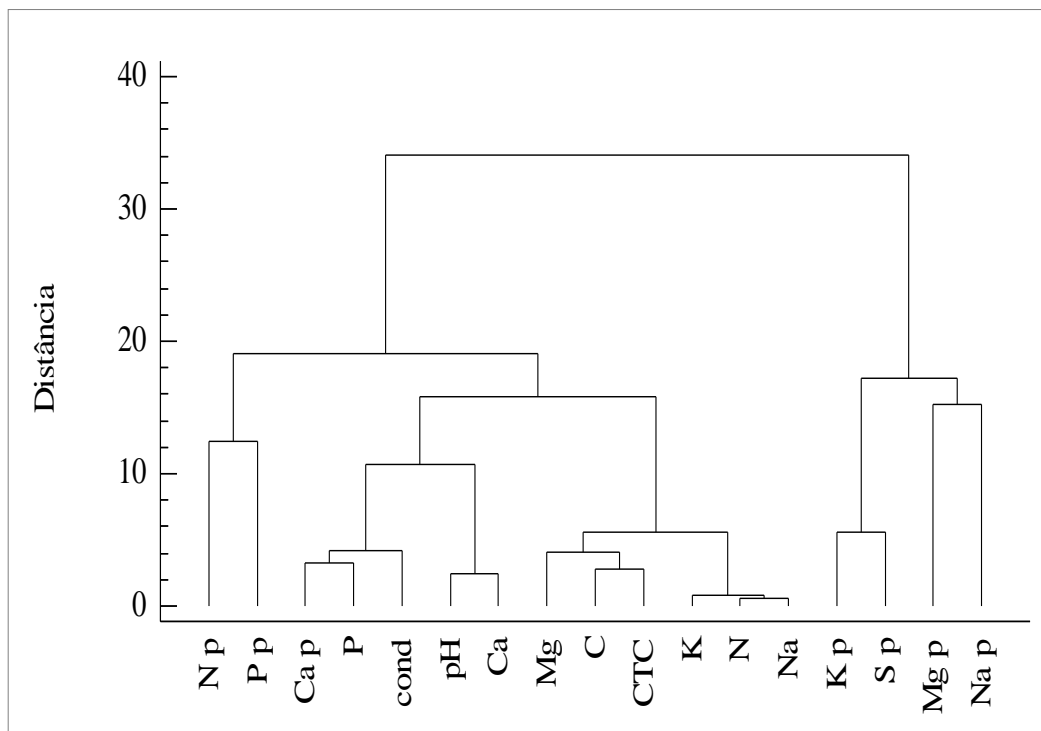
	pH	Ca	Mg	K	P	N	C	Na	Cond.	CTC	N _p	P _p	K _p	Ca _p	Mg _p	S _p	Na _p
pH	1	ns	ns	0,58	0,69	ns	-0,69	0,68	ns	ns	0,63	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca		1	0,58	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,86	0,67	0,71	-0,73
Mg			1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,79	ns
K				1	0,55	ns	ns	0,84	ns	0,82	0,67	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P					1	ns	ns	0,67	ns	ns	0,63	ns	ns	ns	-0,79	ns	ns
N						1	0,82	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C							1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Na								1	ns	0,74	0,77	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cond.									1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CTC										1	ns	ns	0,71	ns	ns	ns	ns
N _p											1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P _p												1	ns	ns	ns	ns	ns
K _p													1	ns	ns	ns	ns
Ca _p														1	ns	0,79	-0,62
Mg _p															1	0,75	-0,58
S _p																1	ns
Na _p																	1

Ca – Cálcio solo; Mg – Magnésio solo; K – Potássio solo; P – Fósforo solo; N – Nitrogênio solo; C- Carbono solo; Na – Sódio solo; Cond – Condutividade do solo; .Np – Nitrogênio planta; Pp – Fósforo planta; Kp – Potássio planta; Cap – Cálcio planta; Mgp – Magnésio planta; Sp – Enxofre planta; Nap – Sódio planta.

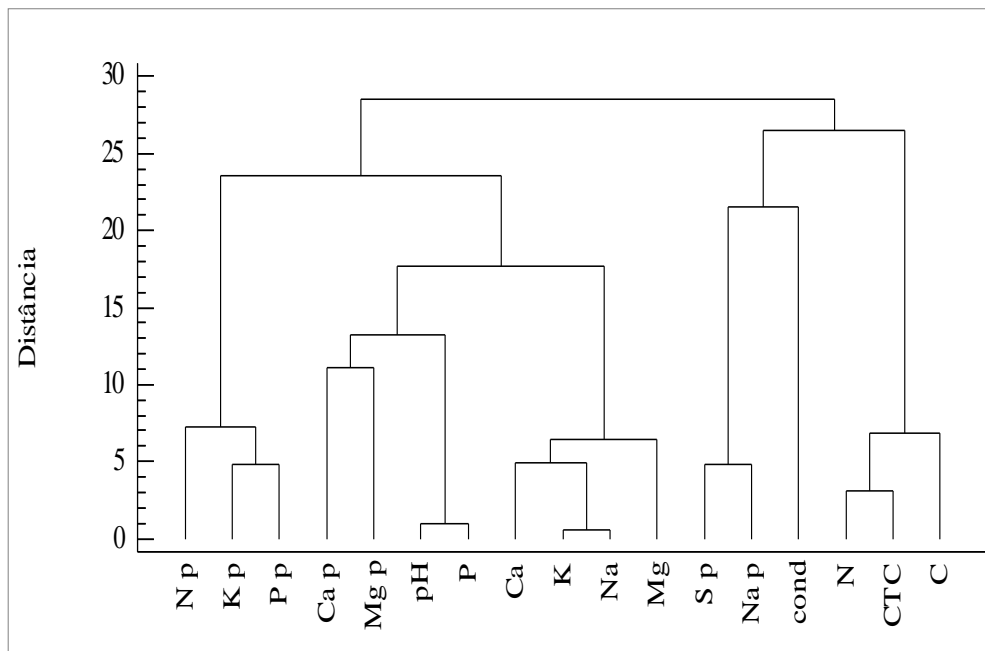
A análise dos dendrogramas mostrou a formação de agrupamentos distintos para as três espécies estudadas. Esses reuniram variáveis do solo, da planta, bem como, a integração dos dois compartimentos (Figuras 2a, 2b e 2c).

Observou-se nos três agrupamentos das espécies a expressão de relações clássicas no solo: Em *A. shaueriana* CTC, C e Mg; Ca e pH (Figura 2a). Em *L. racemosa* CTC, N e C; Ca, K, Na e Mg; P e pH (Figura 2b). Em *R. mangle* CTC, Na e K; P e pH (Figura 2c).

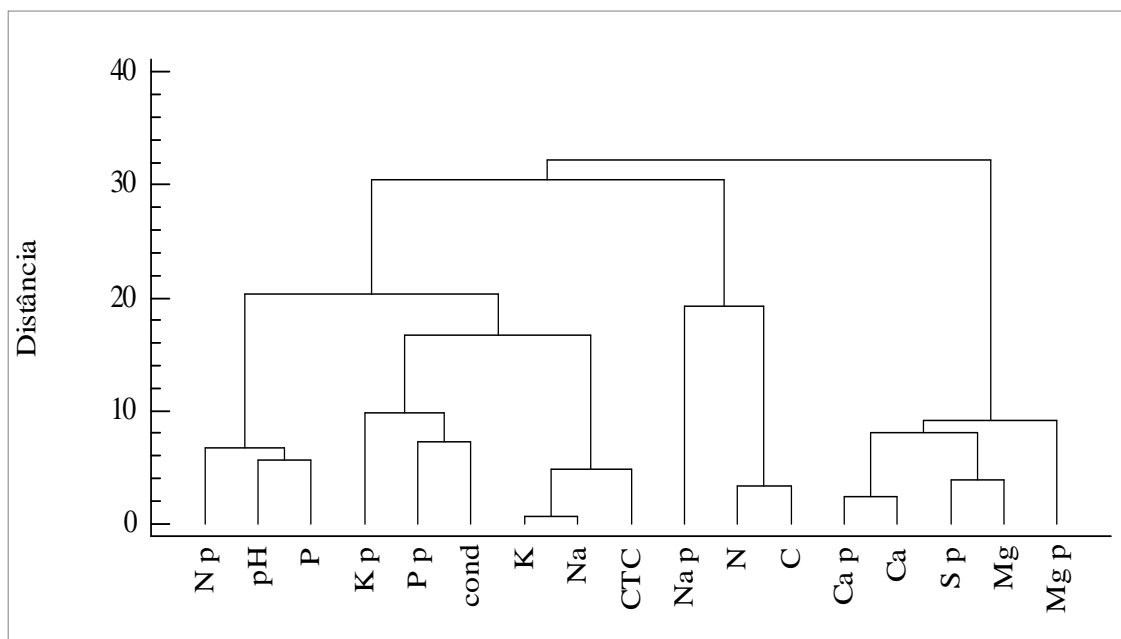
Em relação aos agrupamentos relacionados com os nutrientes foliares, *A. shaueriana* e *L. racemosa* foram as espécies que apresentaram relações bem definidas no compartimento planta. Em *A. shaueriana* essas relações foram formadas por N e P; K, S, Mg e Na (Figura 2a). Em *L. racemosa* houve a formação dos grupos com os nutrientes N, P e K; Ca e Mg; S e Na (Figura 2b). Ao contrário, *R. mangle* foi a espécie que reuniu interações solo-planta nos agrupamentos Ca na planta e Ca no solo e Mg na planta e Mg no solo (Figura 2c).



(A)



(B)



(C)

Figura 2. Dendrograma formado em função dos atributos pedológicos e nutrientes foliares de *A. shaueriana* (A), de *L. racemosa* (B) e de *R. mangle* (C) no manguezal de Guaratuba.

Np – Nitrogênio planta; Pp – Fósforo planta; Cap – Cálcio planta; Kp – Potássio planta; Sp – Enxofre planta; Mgp – Magnésio planta; Nap – Sódio planta; N – Nitrogênio solo; P – Fósforo solo; Ca – Cálcio solo; K – Potássio solo; Mg – Magnésio solo; Na – Sódio solo; Cond – Condutividade do solo.

DISCUSSÃO

Os valores de pH determinado em solução de CaCl_2 , após secagem ao ar, indicam que o solo estudado apresenta alta acidez. Esse índice se contrapõe, a princípio, com os elevados teores de bases trocáveis (SBCS, 2004). Porém, a acidez elevada observada nos solos dos manguezais pode ser atribuída à oxidação do S por ocasião da secagem do solo (Vidal-Torrado et al., 2005). Há outras considerações a respeito do baixo pH, sendo atribuída ou a oxidação de sulfetos em superfície (Bernini & Rezende, 2010), ou ainda pela presença de ácidos fúlvicos (Vidal-Torrado, 2005). Quanto às bases trocáveis, Ca, Mg, K e Na, todas são classificadas como elevadas (SBCS, 2004), sendo que o mesmo se aplica a CTC do solo (Tabela 1).

Analisando os dendrogramas formados em função dos atributos pedológicos e nutrientes foliares das três espécies, destacaram-se agrupamentos distintos, ou seja, não há sobreposição dos grupos (Figuras 2a, 2b e 2c). Isto indica a grande variação que existe dentro do manguezal estudado (Feller et al., 2003; Reef et al., 2010). Como por exemplo tem-se a CTC, cuja associação esperada seria a uniformidade de agrupamentos com os cátions trocáveis. No entanto, em *R. mangle*, a CTC agrupou-se com K e Na, em *A. shaueriana*, a C e Mg e em *L. racemosa*, a C e N.

As concentrações foliares de *Avicennia shaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* foram distintas, mesmo permeando o mesmo solo (Tabela 2). Da mesma forma, o EUN diferenciou-se entre as três espécies. Mostrando que as plantas apresentam estratégias diferenciadas na aquisição dos nutrientes (Tabela 3).

A ordem de concentração de N foliar encontrada nas três espécies segue o padrão de outros manguezais brasileiros, onde espécies do gênero *Avicennia*, também apresentam maiores teores de N e as demais espécies teores menores (Cuzzuol & Campos, 2001; Bernini et al., 2006). No presente estudo destacaram-se os menores teores de N em *L. racemosa*, uma vez que é o elemento de maior concentração nos tecidos foliares, estando seu teor na faixa de deficiência para a maioria das plantas cultivadas (SBCS, 2004; Epstein & Bloom, 2006).

Apesar dos teores de N serem significativamente distintos entre as folhas das três espécies (Tabela 2), a sua absorção não parece ser comprometida pelo suprimento do solo, salvo pela competição iônica e interespecífica, uma vez que as três espécies

utilizam o mesmo solo, com elevado teor de matéria orgânica (SBCS, 2004), avançado estado de decomposição (sáprico) e uma baixa relação C/N (Tabela 1).

Possivelmente, a forma predominante do N seja a amoniacal (Mitsch & Gosselink, 2000), porém não se pode descartar as formas nítricas do N, em função da oxigenação da rizosfera (Reef et al., 2010). A diferença da concentração média de N encontrada nas folhas das três espécies pode ser devida à eficiência de sua aquisição, frente aos demais íons, da variação estacional ou da distinção dos estágios fenológicos das espécies. Por ocasião da coleta do material, em julho, foi possível observar que *A. Shaueriana*, espécie com maior teor de N, já apresentava intensa formação de botões florais, enquanto que *L. racemosa* e *R. mangle* não se encontravam em período reprodutivo.

O agrupamento do N foliar com o P foliar em *A. shaueriana* e *L. racemosa* (Figuras 2a e 2b) parece ter base fisiológica, tendo em vista que a assimilação e utilização do N tem a participação essencial do P (Araújo & Machado, 2006). Ainda em *L. racemosa*, observou-se o agrupamento do N e K foliar, que evidencia a associação imprescindível desse elemento para a síntese protéica (Hawkesford et al., 2012).

Assim como o N, também o S é fundamental para a constituição protéica, (Abdallah et al., 2010). Apesar de se observar um padrão de concentração similar ao N em termos de médias, não se observa correlação entre os dois elementos (Tabela 4). O agrupamento do S e K foliar em *A. schaueriana* (Figura 2a) pode ser explicado pela participação do S na constituição protéica celular (Epstein & Bloom, 2006). Em *R. mangle* (Figura 2c), o agrupamento do S foliar com Mg foliar é em função da participação do Mg na síntese de cisteína (Leustek et al., 2000). A cisteína é um composto orgânico do grupo glutatona relacionada à adaptação das plantas em condições de estresse (Shirzadian-Khorramabad et al., 2010). O agrupamento do S foliar com Mg do solo se deve a sua absorção facilitada pela presença de Mg no solo, como íon acompanhante (Malavolta, 1979).

Os altos teores de K no solo superam em até 30 vezes o máximo para absorção ativa (Mengel, 1984). Ainda assim, se observa diferença na concentração do K entre *A. schaueriana* e as outras duas espécies, o que indica mecanismos distintos, influenciando o suprimento de K para as raízes, bem como mecanismos de absorção do K na própria planta (Meurer, 2006). A relação entre Na solo com o K solo foi altamente

significativa e positiva, pois ambos fazem parte do complexo de saturação por bases para as três espécies estudadas (Tabela 4; Figuras 2a, 2b e 2c). Aparentemente, esta relação não se converte em uma competição, apesar dos altos teores de Na no solo (Tabela 1). Entre as três espécies, *A. shaueriana* apresenta o dobro da concentração de K foliar, em relação às demais.

Os menores teores de Ca para *A. shaueriana* na área estudada (Tabela 2), também foram observados por Bernini et al. (2006) em *A. shaueriana* e por Cuzzuol & Campos (2001) em *A. germinans*, constituindo, ao que tudo indica, uma característica do gênero, independente do ambiente. Neste estudo, o fato chamou atenção em relação às outras duas espécies, embora não seja uma exceção as plantas absorverem baixos teores de Ca, mesmo em presença de elevados teores no solo (Mengel, 1984). Normalmente, havendo disponibilidade de Ca no solo, as plantas absorvem grandes quantidades, sem mostrar sintomas de toxidez ou limitações graves no crescimento (Hawkesford et al., 2012). Desse fato, pode-se concluir que eventualmente *L. racemosa* e *R. mangle* apresentam uma renovação de raízes mais intensa, tendo em vista que a absorção passiva do Ca se deva principalmente pelo meio apoplástico, via extremidade de raízes não suberificadas (Epstein & Bloom, 2006).

As plantas de manguezais, em específico, estão sujeitas a duas grandes situações de estresse: a salinidade e as oscilações de redução e oxidação (Vidal-Torrado et al., 2005). Dessa forma, o Ca atua como mensageiro secundário nos ajustes dos processos celulares a esses estímulos externos. A sua elevada concentração nos tecidos, quando for o caso, é muito mais dependente do alto teor no solo, do que eficiência de absorção (Reddy et al., 2011) e da taxa de transpiração. Em *L. racemosa*, o Ca agrupou-se com K, Na e Mg representando o complexo sortivo em bases (Figura 2b). Em *R. mangle*, observa-se alta correlação entre Ca no solo e Ca foliar (Tabela 4; Figura 2c).

O suprimento com P foliar tem sido diagnosticado a partir da relação N/P, cujo índice 32 tem sido uma referência global em manguezais (Reef et al., 2010). No presente estudo, a relação N/P não ultrapassa 15, podendo estar associado ao alto teor de P-Mehlich no solo (SBCS, 2004), indicando que aparentemente, o teor de P no solo não é um fator limitante ao crescimento vegetal (Tabela 1).

Os índices de eficiência em termos de EUN são valores relativos que, quando comparados entre as espécies, indicam qual delas é a mais eficiente na produção de

biomassa, utilizando o mínimo dos teores dos nutrientes obtidos do solo (Hawkesford, 2012). Nem sempre é possível comparar os índices relativos do EUN com outros estudos em termos equivalentes, uma vez que os diferentes métodos de medir alocação de biomassa e nutrientes podem variar substancialmente.

Avicennia shaueriana teve menor eficiência de aproveitamento dos nutrientes, com exceção do Ca (Tabela 3). Embora haja na área de estudo, altos teores de Ca no solo e sua absorção seja predominantemente regulada pelo fluxo transpiratório (Epstein & Bloom, 2006), *A. shaueriana* apresentou menores concentrações desse elemento nas folhas. Assim, pode-se supor que existam mecanismos reguladores que impeçam sua ascensão às folhas (Mengel, 1984; Yang & Jie, 2005). Nas outras duas espécies, a menor eficiência (de conversão), talvez se deva pelo acúmulo de Ca na forma de oxalato (Silva et al., 2010).

A EUN para um determinado nutriente pode alterar à medida que sua disponibilidade no solo varia. De forma geral, o índice aumenta com a redução de sua disponibilidade no solo (Hawkesford et al., 2012). Para todos os indivíduos estudados, destaca-se a alta eficiência do P na produção de biomassa (Tabela 3), devendo-se ao fato do seu baixo teor encontrado no solo (Winckler, 2006), bem como dos menores teores nos tecidos, entre os macronutrientes estudados. Em *Avicennia shaueriana*, espécie com alto teor de N e conseqüentemente baixo EUN, esses valores podem significar uma estratégia de maior acúmulo para maior produção de glicinbetaína, composto quaternário de amônio, rico em N, que é considerado um soluto compatível para tolerância aos sais (Popp, 1984).

Estes resultados sugerem que as espécies estudadas apresentam estratégias diferenciadas quanto ao acúmulo e utilização dos nutrientes, e que, nem sempre o maior acúmulo de determinado nutriente significa uma menor eficiência no seu uso, particularmente em função das várias estratégias utilizadas pelas plantas para a manutenção do equilíbrio iônico.

CONCLUSÃO

1. As três espécies estudadas apresentaram concentrações foliares distintas. *Avicennia schaueriana* apresentou teores foliares mais elevados de N, K, P, Mg, S e Na que *L.*

racemosa e *R. mangle*, as quais só diferiram entre si nas concentrações foliares de Ca e N.

2. *Laguncularia racemosa* foi a espécie que apresentou menores teores de nutrientes foliares, com exceção ao Ca

3. Desconsiderando o Ca a ordem de eficiência de uso dos nutrientes foi *L. racemosa* > *R. mangle* > *A. schaueriana*

4. A análise dos dendrogramas demonstrou que as espécies possuem estratégias distintas para a aquisição de nutrientes.

AGRADECIMENTOS

À Petrobras e Fundação Araucária (Convênio 412/09 protocolo 12499) pelo apoio financeiro. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida à primeira autora e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (301561/2010-9) concedida à segunda autora.

LITERATURA CITADA

- Abdallah, M.; Dubousset, L.; Meuriot, F.; Etienne, P.; Avice, J-C; Ourry, A. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. *Journal of Experimental Botany* v.61, n.10, p. 2635–2646, 2010.
- Alongi, D. M. *The Energetics of Mangrove Forests*. Queensland:Springer. 2009. 215p.
- Alongi, D. M. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.76, p. 1-13, 2008.
- Ball, M. C. Ecophysiology of mangroves. Review article. *Trees*, v.2, p.129–142, 1988.
- Barros, N.F. de; Novais, R.F. de; Carmo, D.N.; Neves, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.
- Bernini, E.; Silva, M. A.; Carmo, T.M.; Cuzzuol, G.R.F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 29, p.686–699, 2006.
- Bernini, E.; Rezende, C.E. Concentração de nutrientes em folhas e sedimentos em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Gestão Costeira Integrada*, v. 2, p.1–10, 2010.
- Bernini, E.; da Silva, M.A.B.; do Carmo, T.M.S.; Cuzzuol, G.R.F. Spatial and temporal variation of the nutrients in the sediment and leaves of two Brazilian mangrove

- species and their role in the retention of environmental heavy metals. *Brazilian Society of Plant Physiology*, v. 22, n.3, p.177–187, 2010.
- Cuzzuol, G.R.F.; Rocha, A. C. Interação do regime hídrico com as relações nutricionais em ecossistema manguezal. *Acta Botanica Brasilica*, v.26, n.1, p. 11–19, 2012.
- Cuzzuol, G.R.F.; Campos, A. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v.24, p.227–34, 2001.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.
- Epstein, E.; Bloom, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.
- Feller, I.C.; Lovelock, C.E.; Piou, C. Growth and nutrient conservation in *Rhizophora mangle* in response to fertilization along latitudinal and tidal gradients. *Smithson. Contrib. Mar.Sci.*, v.38, p.345–358, 2009.
- Flowers, T. J.; Galal, H.; Bromham, L. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, v.37, p.604–612, 2010.
- Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Skrumager, I. Functions of Macronutrients. In: Marschner, Petra, London: Academic Press. 2012. p. 135–189.
- Jennerjahn, T.; Ittekkot. Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*, v.89, p.23–30, 2002.
- Malavolta, E. Potássio, Mg e S nos solos e culturas brasileiras. Boletim Técnico n.04. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1979. 92p.
- McCune, B.; Grace, J. B. Analysis of Ecological Communities. Oregon: MJM. 2002. 284p.
- Mengel, K. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 1984.431p.
- Meurer, E.J. Potássio. In Nutrição Mineral de Plantas, ed. M.S. Fernandes, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 281–298
- Mitsch, W.J.; Gosselink, J. G.. Wetlands, New York: John Wiley & Sons, 2007. 296p.
- Popp, M. Chemical composition of Australian mangroves II. Low molecular weight carbohydrates. *Zeitschrift für pflanzenphysiologia*, v.113, p.411–421, 1984.
- Reddy, A. S.N.; Ali, G.S.; Celesnik, H.; Day, I. S. Coping with Stresses: Roles of Calcium- and Calcium/Calmodulin-Regulated Gene Expression. *The Plant Cell*, v.23, p.2010–2032, 2011.
- Reef, R.; Feller, I. C.; Lovelock, C. E. Nutrition of mangroves. *Tree Physiology*, v.30, p. 1148–1160, 2010.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Adaime, R. R. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, v.13, p.204–218, 1990.
- Schaeffer-Novelli, Y. Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum. São Paulo, Caribbean Ecological Research. 2000. 119p.
- Shirzadian-Khorramabad, R.; Jing, H. C.; Everts, G. E.; Schippers, J. H.; Hille, J.; Dijkwel, P. P. *BMC Plant Biolog.*, v.10:80, 2010.
- Silva, J. M.; Martins, M. B. G.; Cavalheiro, A. J. Caracterização anatômica e perfil químico da lâmina foliar de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn, de manguezais impactados e não impactados do litoral de São Paulo. *Iheringia, Sér. Bot.*, Porto Alegre, v.65, n.2, p.123–132, 2010.

- Sobrado, M. A. Leaf characteristics and gas Exchange of the mangrove *Laguncularia racemosa* as affected by salinity. *Photosynthetica*, v.43, n. 2, p. 217-221, 2005.
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados de RS e SC, Porto Alegre: SBCS, 2004. 400p.
- Swiader, J.M.; Chyan, Y.; Freiji, F.G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *J. Plant Nutr.*, v.7, p.1687-1699, 1994.
- Tue, N.T.; Quy, T.D.; Hamaoka, H.; Nhuan, M.T.; Omori, K. Sources and exchange of particulate organic matter in an estuarine mangrove ecosystem of Xuan Thuy National Park, Vietnam. *Estuaries and Coasts*, v.35, p.1060–1068, 2012.
- Vidal-Torrado, P.; Otero, X. L.; Ferreira, T.; Souza Jr, V; Bicego, M.; García-González, M. T.; Macías, F. Solos de mangue: características, gênese e impactos Antrópicos. *Edafología*, v.12, n.3, p.199-244, 2005.
- Winckler, M. V.; Marques, R.; Soares, R. V.; Watzlawick, L. F. Índice de eficiência de macronutrientes em espécies arbóreas – floresta ombrófila mista montana/ Paraná. *Semina: Ciências Agrárias*, v.27, n.3, p.321-332, 2006.
- Yang, H.Q.; Jie, Y.L. Uptake and transport of calcium in plants. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, v.31, n.3, p.227–234, 2005.
- Zar, J. H. *Biostatistical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 662p.

ARTIGO 3

SOIL-PLANT NUTRIENT INTERACTIONS IN TWO MANGROVE AREAS AT SOUTHERN BRAZIL

Ana Paula Lang Martins Madi^{1,5}; Maria Regina Torres Boeger²; Carlos Bruno Reissmann³; Kelly Geronazzo Martins⁴

1 – Graduate Program in Ecology and Conservation, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19073, Centro Politécnico, Curitiba, PR. 81.531-980. Telephone: + 55 (41) 3361-1755. E-mail: langmartins@hotmail.com

2 – Botanical Department, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19073, Centro Politécnico, Curitiba, PR. 81.531-980.

3 – Soil Department, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, Curitiba, PR. 80.035-020.

4 – Environmental Engineering Department, Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR 153 km 7 – Riozinho, Campus Irati, Paraná.

5 – Corresponding author.

Abstract: The mangrove biome is a distinct saline woodland or shrubland habitat characterized by depositional coastal environments. This research objective was to evaluate possible interactions between physical-chemical soil attributes and plant leaf nutrient concentrations of different mangrove species. Thus, different mangrove species growing in the same soil class, and else, the same mangrove plant species growing in two different soil classes were evaluated as to their leaf nutrient concentration patterns. This study was carried out in mangrove areas of the State of Paraná, southern Brazil, in two distinct soil classes (salic-sodic thiomorphic Histosol and salic-sodic thiomorphic Gleysol), and three different species (*Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* and *Rhizophora mangle*). Two subareas were randomly delimited within each area from which soil and leaf samples were collected. Samplings from five individuals of each dominant mangrove species were taken as well as from the soil (0-10 cm deep) under each tree crown projection. The data was submitted to statistical analysis using a set of univariate and multivariate analysis in order to determine possible differences among mangrove species leaf nutrient concentrations and whether these differences might be correlated with the soil attributes or not. The results showed significant differences among all three mangrove species for their leaf nutrient concentration patterns, although growing in the same soil class and independently of the soil attributes. Few correlations were found among leaf nutrient concentrations and soil attributes, suggesting differential selective nutrient uptake among plant species.

Key-words: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, mangrove vegetation, mangrove soil, plant nutrients.

INTRODUCTION

Mangroves are transitional ecosystems between the highlands and ocean, characteristics of saline coastal habitats in the tropics and subtropics. Such environments are dominated by many typical tree and shrub species adapted to a fine sediment substrate, resulted from periodical tide flood depositions, rich in organic matter and with varied salinity and low oxygen (Griffiths et al. 2008).

The mangrove forest areas of the world occupy around 14.65 million hectares (14,650,000 ha) (Wilkie and Fortuna 2003). Brazil ranks third with one of the world's largest mangrove areas, representing 7% of the world (Giri et al. 2011). The Brazilian mangroves are found along 6,800 km of coast from the extreme north of Oiapoque (State of Amapá) until the southern region of Santa Catarina State (Shaeffer-Novelli et al. 1990). Although it is considered a Permanent Preservation Area (PPA) according to the Brazilian directive CONAMA 303/02, this ecosystem is under continuous anthropic activity threat (Krug et al. 2007). About 35% of the Brazilian mangrove forests were lost between 1980-1990 decades (Valiela et al. 2001).

Mangrove forests show low tree species diversity when compared to other tropical forests (Kathiresan 2008). At southern Brazil, only three mangrove species are usually found: *Rhizophora mangle* L.; *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn; and *Avicennia schaueriana* Stapf & Leachman (Schaeffer-Novelli et al. 1990).

Despite the low plant diversity, mangroves play an important ecological role in the coastal areas (Kauffman et al. 2011), because they are among the world's most productive systems in terms of organic matter accumulation (Tue et al. 2012).

Diversity as well as species abundance is influenced by several factors, such as geomorphology, climate, tide amplitude, salinity and edaphic characteristics (Boto and Wellington 1984). Such abiotic factors are generally interrelated, as for instance, soil salinity affecting leaf nutrient concentrations (Araujo et al. 2010). Besides the complex interactions among abiotic factors, many mangrove species may present differences in the absolute plant nutrient concentrations and the relative ratios between nutrients due to different plant species abilities in nutrient selectivity and uptake (Bernini et al. 2006).

Studies at the southern and northern coastal regions of Brazil showed that mangrove species presented differential nutrient concentrations. Thus, *Avicennia* species was observed to show higher leaf concentrations of nitrogen (N), potassium (K) and magnesium (Mg) and lower concentrations of calcium (Ca) than *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* (Cuzzuol and Campos 2001; Bernini et al. 2010). Such variation is expected, once these species have differential selectivity for nutrients even growing in the same environment (Bernini et al. 2006).

Besides, the spatial and temporal nutrient variability in the soil might also collaborate to differential nutrient uptake among species (Bernini et al. 2010). Nevertheless, other studies have suggested that soil physical-chemical attributes might also affect plant leaf nutrient concentrations, mainly when plants share the same pool of soil nutrients (Vitousek and Sanford 1986).

Soil salinity is considered a determinant factor affecting mangrove vegetation structure and development (Bernini et al 2006). Excessive soil sodium (Na) might induce other cation deficiencies in the plants. There are studies evidencing that mangrove foliar Ca concentrations are controlled by or dependent on the soil Na concentrations (Waisel 1972). On the other hand, Ca is an essential element for root cell membrane integrity (Mengel 1984) and indispensable to the plant survival under mangrove environment conditions (Lacerda et al. 1986), with consequent K uptake enhancing and Na inhibition.

Mangrove soils are classified as allomorphic soils, developed by the deposition of sediments from the ocean, rivers and rain runoff. The main soil classes in these environments are: thiomorphic Gleysols and salic Gleysols and Histosols (Vidal-Torrado 2005). These soils are mainly characterized by fine sediments (clay and silt), high organic matter and soluble salts (from the sea water) (Cintron and Schaffer-Novelli 1983).

In the State of Paraná, Brazil, Gleysols and Histosols are commonly found and both may present thiomorphism (Embrapa 2009). The Gleysol class consists of hydromorphic soils characterized by a grey color as a consequence of the presence of reduced iron (Fe^{2+}) due to constant (periodical or permanent) water saturation; the Gleysols are constituted by minerals of varied textures. The Histosol class consists of soils with high proportion of vegetal residues in different degrees of decomposition, poor drainage conditions, very low density and high porosity; they are extremely fragile soils, but with high organic-C and water storage capacity (Embrapa 2009).

Based on the soil-plant interaction evaluations, mainly on the relationships among soil physical-chemical attributes and plant leaf nutrient concentrations, two mangrove areas of southern Brazil with two distinct floristic structures were studied. The areas were characterized by two distinct soil classes (salic-sodic thiomorphic Histosol and salic-sodic thiomorphic Gleysol), with different organic-C contents. This study aimed to investigate if the leaf nutrient concentrations are soil class dependent, and, if soil chemical-physical attributes would interrelate with leaf nutrients, and may at least, explain in part, the nutritional differences among species.

MATERIAL AND METHODS

Research area

This study was carried out at Antonina and Guaratuba municipal districts, State of Paraná, Brazil. Antonina is located at the western region of Paranaguá Bay and includes an area of 460 km². Guaratuba is located at the Guaratuba Bay and represents the second greatest estuary complex of Paraná coast with 48.72 km² (Figure 1). The mangrove geographical position, edaphic and climatic characteristics are presented in Table 1. The average annual rainfall and daily temperature data is referred to the year of 2010, registered by the Paranaguá Station of the Meteorological System of Paraná (SIMEPAR) (Table 1).

Material sampling

For each mangrove an area of about 1000 m² was established parallel to the water body for soil and plant leaf samplings from *A. schaueriana*, *L. racemosa* and *R. mangle*). Ten dominant individuals were randomly marked per area along the entire mangrove strip. At Antonina, the individuals were marked in the medium part of the Nhundiaquara River estuary; and at Guaratuba, in the medium part of Pinheiros River.

Intact mature leaves were collected from the tree crown medium height at north face (Borille et al. 2005), during July 2010, using pruning-scissors. Young and senescent leaves were unconsidered. Leaf samples were thoroughly rinsed and dried in a forced-air oven at 60°C until constant weight; following, leaf samples were ground and submitted to nitric-perchloric digestion, according to Jones and Case (1990). Phosphorus (P), K, Ca, Mg, Na and sulfur (S) were determined by ICP-OES (inductively coupled plasma optical emission spectrometry) with argon plasma. Nitrogen (N) was determined by Kjeldahl method.

Soil samples were collected at 0-10 cm deep (Nielsen and Andersen 2003) in four selected points under each tree crown projection, during June 2010, using a 10 cm diameter PVC tube. Soil samples were air-dried at room temperature and passed through 2 mm sieve to obtain the air-dried fine soil fraction (< 2 mm). Soil samples were then analyzed for pH (CaCl₂), P, K, Ca, Mg, Na and aluminum (Al), according to the “Manual of Methods for Soil Analysis” (Embrapa 1997); Carbon (C) and N were determined by combustion using a VARIO-EL-III analyzer, Elementar® model. The mangrove thiomorphic character was confirmed according to classification of EMBRAPA (2009).

Statistical analysis

Plant and soil data was submitted to univariate and multivariate (data clustering and ordination) analyses in order to test whether mangrove species growing in different soil classes would show differential leaf nutrient concentrations or not. Univariate analysis was used to evaluate plant responses within and among mangrove areas. Therefore, statistical differences among areas were assured by means of two analyses of variance (*one-way* ANOVA), firstly including species as the variable factor, and secondly, the mangrove areas. Soil pedological attributes and leaf nutrient concentrations were the dependent variables. After ANOVA, variable means were compared by Fisher test LSD ($p < 0.05$). The variance homogeneity and Gaussian distribution were checked out by means of Bartlett test ($p < 0.05$) and Kolmogorov-Smirnov ($p < 0.05$) (Zar 1999).

The K uptake efficiency in the presence of high Na concentrations was evaluated by means of the net selectivity efficiency index (net S_{K:Na}), according to Flowers and Colmer (2008), calculated by the following formula:

$$\text{net } S_{K:Na} = \left[\frac{(\text{leaf } K / \text{soil } K)}{(\text{leaf } Na / \text{soil } Na)} \right]$$

where, leaf nutrient unities are in g.kg^{-1} and soil nutrient unities in mg.kg^{-1} ; the conversion factor for K is 0.391 and for Na is 0.230.

In order to detect differences among plant nutrient concentrations and soil chemical attributes in both mangrove areas, three Principal Components Analyses (PCA) were made with Euclidian distance. Pearson correlations among original variables and the PCA scores were made to identify which variables were the main responsible for the variations. The number of axis was determined by the randomizing test with 999 permutations. Analyses were run by the CANOCO program version 4.53 (Ter Braak and Smilauer 2002).

RESULTS

Soil analysis

Soil samples from Antonina showed lower pH values than those from Guaratuba, but no differences among species within each area were observed. However, differences between soils were observed when each species was individually compared (Table 2).

Higher electrical conductivity (EC) was found in soil samples from Guaratuba than from Antonina, but no significant differences among the species soil samples within the same area were found (Table 2).

Significant higher organic matter concentration values (OM) were found in soil samples from Antonina than from Guaratuba. Also, significant differences within each area were observed, among the three species (Table 2). In the same way, higher soil carbon (C) values and C:N ratios were found in samples from Antonina, as expected, since these variables are related with organic matter.

No significant differences among the three species soil samples within each mangrove area were found for Ca, K, Mg, Na and P concentrations. But higher K and P concentrations were found in soil samples from Guaratuba than from Antonina. On the other hand, higher N concentrations were found in soil samples from Antonina, but only those collected under the *A. schaueriana* and *L. racemosa* species (Table 2).

Leaf analysis

The leaf nutrient concentrations were ranked according to the following decreasing values for the three mangrove species: $\text{N} > \text{K} > \text{S} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{P}$ for *A. schaueriana*, in both mangrove areas; $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Na} > \text{S} > \text{Mg} > \text{P}$ for *L. racemosa* in Antonina and $\text{Ca} > \text{N} > \text{Na} > \text{S} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$ in Guaratuba; $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{S} > \text{Mg} > \text{P}$ for *R. mangle*, in Antonina, and the opposite $\text{Na} > \text{K}$ in Guaratuba (Table 3).

No significant differences between areas for the same species leaf nutrient concentrations were found, except for *A. schaueriana* that showed higher leaf N concentration in Antonina (Table 3).

Besides, leaf N concentrations were ranked in the same decreasing order for the species, within each mangrove area, as follows: *A. schaueriana* > *R. mangle* > *L. racemosa*. Potassium, Mg, S and Na showed higher and significant differences in *A. schaueriana* against *L. racemosa* and *R. mangle* (Table 3). Leaf P concentrations also showed the same tendency in both areas and within each area the following

decreasing gradient was observed: *A. shaueriana* > *R. mangle* = *L. racemosa* for both Antonina and Guaratuba mangroves. As concerned to leaf Ca concentrations, *A. shaueriana* showed, in average, 3.5-fold lower Ca than *L. racemosa* in both mangrove areas (Table 3).

In Guaratuba, higher net selectivity efficiency index (net $S_{K:Na}$) values for K (in presence of Na) were found for *A. shaueriana* than for *L. racemosa* and *R. mangle*. In Antonina, *A. shaueriana* and *R. mangle* showed similar index values, which were higher than *L. racemosa* index (Table 3).

Soil-plant interaction

The data matrix analysis revealed few correlations among soil and plant variables. Positive correlations between soil Na and *R. mangle* leaf N in Guaratuba ($r=0.75$; $p<0.05$) and *L. racemosa* leaf N in Antonina ($r=0.72$; $p<0.05$) were found, respectively (Table 4).

The principal coordinate analyses (PCoA) of soil data collected under the three species crown projections and their respective leaf nutrient concentrations allowed clustering the species into two groups (Antonina and Guaratuba mangroves). The pedological attributes were the variables that mostly contributed, but correlation coefficients between principal coordinates and leaf nutrients were not above 0.70 (Table 5). This means that the data clustering and ordination found for *A. shaueriana* explained 70% of the data (PCoA 1= 49.9% and PCoA 2 = 19.4%) (Figure 2). The soil pH, Al, H+Al, K, P, C, Na and OM showed higher correlations with the first coordinate. The second coordinate also separated the plots into two groups, but it was mostly correlated with Mg and N variables.

The ordination analysis for *L. racemosa* clustered the mangrove areas in two distinct groups (Figure 3). The first and second coordinates together explained 63.8% of data variation (PCoA 1= 45.4% and PCoA 2 = 18.4%). Soil pH, Al, H+Al, K, P, C, and OM were the attributes mostly correlated with the first coordinate, and Na with the second coordinate.

The ordination analysis for *R. mangle* also clustered the mangrove areas into two distinct groups (Figure 4). Both coordinates together explained 60.3% of the data variation (PCoA 1= 46.5% and PCoA 2 = 13.8%). Soil pH, Al, H+Al, K, P and Na were the attributes mostly correlated with the first coordinate, and C and OM with the second coordinate ($r < 0.70$) (Table 5).

DISCUSSION

Soil analysis

The soil chemical analysis showed intra and interspecific variations, and the results were similar to the average values of other Brazilian mangroves (Cuzzuol and Campos 2001; Bernini et al. 2010; Bernini and Rezende 2010). The main differential soil attributes between areas were Al, K, P, CEC, m% and V%, plus C-content that separated the soils in Histosol and Gleysol classes.

The expressive differential percentages between the soil classes represented by m = 92%; Al = 91%; P = 44%; K = 39%; pH = 37%; V% = 31%; C and OM = 29%; and CEC = 28%, are coherent with the clusters expressed in Figures 2, 3 and 4. Significant differences for N were only found in Guaratuba

and for C/N ratio in Antonina. Therefore, the statistical analysis among and within mangrove areas showed that significantly different soil variables were related with the distinct soil classification.

Carbon concentration was the main attribute responsible for the mangrove soil classification, characterizing a Histosol in Antonina and a Gleysol in Guaratuba. The Guaratuba soil profile did not show a sufficiently expressive histic horizon to be classified as a Histosol. But, the gleysol samples showed higher OM concentrations nearby the *R. mangle* individuals than nearby other species. This fact might be attributed to the *R. mangle* species preferential location in inland depressions and margins, where higher OM accumulation usually occurs. The present data corroborated other authors' results, when high OM contents were observed nearby *R. mangle* plants in mangrove areas of Mexico (López-Portillo and Ezcurra 1989) and southern Brazil (Carmo et al. 1998).

The lower pH values observed in Antonina's soil samples are probable due to the greater amount of sulfur radicals generated from OM and also to their greater potential acidity (Table 2). However, two special considerations about Antonina's pH values must be done: (a) routine analysis in the laboratory (of the Soil Department of Environmental Engineering, at the Federal University of Paraná) showed very low pH values (3.5-4.5) indicating acidic medium; such low values are probably due to the soil sample procedure for chemical analysis, because oxidation of sulfur and derivates occur during soil drying (Bernini and Rezende 2010); (b) under soil water saturation conditions (Embrapa 2009), the same soil samples presented pH range of 6.8-7.4, which are more compatible with the high soil base saturation (V%) values found. Some of these mangrove soils may show $\text{pH} \leq 4.0$, when incubated for until eight weeks, and then, they are characterized as thiomorphic soils (Embrapa 2009).

The higher soil exchangeable base (Ca, Mg, K and Na) concentrations (SBCS 2004) corroborated the *in situ* higher pH values found (Cuzzuol and Rocha 2012). The same is evidenced by soil CEC values, because soil charges are originated from the high OM concentrations and mineral colloids of sediments. The OM higher CEC in Antonina than in Guaratuba soils is probably due to the organic constitution of Antonina's soils. Little variation of sum of bases (SB) was observed between areas and species. In this case Bases Saturation (V%), is inversely proportional to CEC, which in turn is dependent on the organic or mineral colloid characteristics.

The soil high electrical conductivity (EC) values ($> 7\text{dSm}^{-1}$ at 25°C) conferred the Salic character to such mangrove soils (Embrapa 2009). Furthermore, the high Na concentration values observed in these mangrove soils might be explained by the frequent flooding with saline waters in such areas, conferring the Sodic character to soil classification (Embrapa 2009). Both studied areas presented high percentage of soil Na in the colloid exchange loci.

Leaf analysis

Differential leaf nutrient concentrations were observed among mangrove species in both areas (Table 3), although all three species were under the same synergistic and antagonistic relationships during root nutrient uptake from soil (Cuzzuol and Rocha 2012).

In the present study, the leaf nutrient concentration means were within the range described in the literature for Brazilian mangroves (Cuzzuol and Campos 2001; Bernini et al. 2010; Bernini and Rezende

2010). However, different nutrient concentration patterns were observed for the three species, contrarily to the results reported by Bernini et al. (2010). They found similar nutrient patterns in *L. racemosa* and *R. mangle* species, when studying the Espírito Santo mangroves, at southern Brazil. On the other hand, in the present study, highest leaf N and lowest P and S concentrations were found in *A. shaueriana* and *R. mangle* species, corroborating the results of Cuzzuol and Campos (2001), when studying the Mucuri mangrove in the State of Bahia, Brazil.

The differential leaf nutrient concentration ranking among mangrove species ($K > Mg > Ca$ in *A. shaueriana*; $Ca > K > Mg$ in *L. racemosa* and *R. mangle*) appears to be related to the reciprocal antagonism among cations (Mengel 1984), as well as to the seasonal variation that directly influences the leaf nutrient concentrations.

There was a clear distinction among species as to their leaf N concentrations, significantly higher in *A. schaueriana* leaves, independently of the soil type (Table 2). This species' higher leaf N concentration might be the result of glycinebetain (N-rich quaternary ammonium compound) accumulation in the cytoplasm that is supposed to contribute to plant salt tolerance (Popp 1984; Medina and Francisco 1997).

Avicennia shaueriana's higher leaf Mg and Na concentrations evidenced a selective root uptake for these nutrients, fact that is a characteristic salt excretion mechanism present in the species of this genus (Lacerda et al. 1985; Medina and Francisco 1997).

On the other hand, the differential leaf K concentrations observed among species suggested diverse mechanisms affecting soil K movement to the rhizosphere, and else, distinct root K selectivity and uptake (Meurer 2006). The net K selectivity index (net $S_{K:Na}$) values found (average = 19) were within the range indicated (9 - 60) by Flowers and Colmer (2008). The data evidenced that the medium physical characteristics might interfere on the K index values. High net $S_{K:Na}$ values for *A. shaueriana* in both studied areas expressed greater K uptake ability in the presence of high Na concentrations and higher K selectivity.

The high leaf Ca, superior than N concentrations observed in *L. racemosa* leaves do not represent the species usual nutrient pattern. Low leaf Ca was also found in *A. shaueriana* in mangroves of northern (Cuzzuol and Campos 2001) and southern Brazil (Bernini et al. 2006) and seemed to be a characteristic of species of this genus, independently of the soil type where the individuals are grown. Else, it would depend on which plant category the species would belong to, as concerned to Ca acquisition and accumulation, such as the so-called oxalate containing plants (Hawkesford et al. 2012). The oxalate containing plants are characterized by the presence of free oxalate in the roots that would precipitate Ca and possibly restrict this nutrient transport to the xylem (Popp, 1984).

Soil- plant Interaction

The ordination analysis and Pearson correlations between soil and plant nutrient variables evidenced the soil was not a conditioning factor for the species leaf nutrient concentrations in the studied mangrove areas.

Higher soil N and C concentrations were found in Antonina, indicating greater soil OM enrichment compared to Guaratuba mangrove, and characterizing the Histosol class. The significant increases in such soil attributes determined the soil ordination under the respective species. The highest OM concentration values in Antonina might be consequence of harbor activities and urban conglomerations nearby the experiment sampling area, because the organic matter seemed to be a mixture of autochthon and allochthon OM depositions from continental origin (Bittencourt 1998; Lana 1998).

The soil K and pH data ordination might be explained by the strong relationship between the soil base saturation and soil pH (Raij 1983). It is highlighted that in Guaratuba, where soil base saturation was close to 90% and pH was higher than at Antonina, the base saturation and pH values might also be due to potassium feldspars of regional sediments originated from elements of the “Serra do Mar” mountain ridge (Angulo 2004).

On the other hand, Antonina’s mangrove soil showed relatively high Al saturation, lower base saturation, and lower K concentrations, although K was high enough in terms of plant nutrition. But, even with K-rich feldspar depositions, Antonina’s mangrove lower soil K concentrations might be explained by the lower K - OM binding affinity, suggesting greater K lixiviation and lower extractable K concentrations.

Mangrove soil ordination was strongly defined by soil Al and H+Al concentration values (Tables 2 and 5). Antonina’s mangrove higher potential acidity, as already discussed, is probably due to this environment higher OM content (Lin et al 2009).

However, soil data ordination was not possible when using the variables responsible for mangrove soil classification (C, C/N and OM). This fact, in the case of *R. mangle*, might be attributed to its favorite localization at mangrove margins, which is a region of greater instability and more susceptible to tide action. Therefore, as this species follows along both mangrove margins, the spatial factor might have greatly influenced the *R. mangle* leaf chemical composition (Cuzzuol and Rocha 2012). Contrarily to *R. mangle*, the other mangrove species seemed to more intensively respond to the soil matrix physical-chemical processes. Depending on the soil texture, soil factors such as redox potential, pH, CEC, C and EC might exert more or less influence on plant species nutrient uptake. The differential nutrient leaf composition of *A. schaueriana* and *L. racemosa* might also be attributed to the soil saturation degree and micro relief (Jimenez 1988; Jimenez and Lugo 1988).

From this study resulted that different mangrove species growing in the same soil class presented differential leaf nutrient concentrations. *Avicennia schaueriana* showed higher leaf nutrient concentrations, except for Ca, than the other two studied species (*R. mangle* and *L. racemosa*). Among the three species, *A. schaueriana* showed the highest net selectivity index for potassium in the presence of high saturation levels of sodium.

Differential and individual species nutritional patterns were observed, evaluated by the leaf nutrient concentrations, independently of the soil attributes in which they were growing. Differences observed in soil characteristics did not affect the species nutritional patterns. Few correlations were found between leaf and soil nutrient concentrations, suggesting differential selective nutrient uptake among mangrove plant species.

Acknowledgements

The authors are thankful to Petrobras and Araucária Foundation (Convention 412/09 protocol 12499) for the financial support. To the Coordination of Graduate Personnel Improvement (CAPES) for the research grant conferred to the first author. To the Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for the scientific productivity (301561/2010-9) grant conferred to the second author. To Professor Dr. Celina Wisniewski for the soil classification of the mangrove areas under study.

References

- Alongi, D.M. 1996. The dynamics of benthic nutrient pools and fluxes in tropical mangrove forest. *Journal Marine Research*. 54: 123–148.
- Angulo, R.J. 2004. Cenozoic map of the state of Paraná coastal zone. *Boletim Paranaense de Geociências*. 55: 25–42.
- Araujo, Q.R., R.L.O. Krause, S.O. Santana, T.G. Araujo, J.R. Mendonça and A.V. Trindade. 2010. Caracterização de Solo de Manguezal na Bacia Hidrográfica do Rio Graciosa, Bahia, Brasil. *Encontro Internacional Anual 2010 das Sociedades Americanas de Agronomia, Fitotecnia e Ciência do Solo*. Long Beach, Califórnia.
- Bernini, E., M.A. Silva, T.M. Carmo and G.R.F. Cuzzuol. 2006. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 29: 686–699.
- Bernini, E. and C.E. Rezende. 2010. Concentração de nutrientes em folhas e sedimentos em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Gestão Costeira Integrada* 2: 1–10.
- Bernini, E., M.A.B. da Silva, T.M.S. do Carmo and G.R.F. Cuzzuol. 2010. Spatial and temporal variation of the nutrients in the sediment and leaves of two Brazilian mangrove species and their role in the retention of environmental heavy metals. *Brazilian Society of Plant Physiology* 22(3): 177–187.
- Bittencourt, A.V.L. 1998. Avaliação da disponibilidade hídrica. In *Meio Ambiente e Desenvolvimento no Litoral do Paraná: Diagnóstico*, ed. R. E. de Lima and R. R. B. Negrelle, 41–48. Curitiba: Editora UFPR.
- Boto, K.G. and J.T. Wellington. 1984. Soil Characteristics and Nutrient Status in a Northern Australian Mangrove Forest. *Estuaries*. 7(1): 61–69.
- Carmo, T.M.S., R. Almeida, A.R. Oliveira and S. Zanotti-Xavier. 1998. Caracterização de um trecho do manguezal do rio da Passagem, baía de Vitória, Vitória-ES. In *Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros* 1:9–19. Espírito Santo: ACIESP.
- Citrón, G. and Y. Schaeffer-Novelli. 1983. *Introducción a la ecología del manglar*. San Juan, Rostlac.
- Cuzzuol, G.R.F. and A. C. Rocha. 2012. Interação do regime hídrico com as relações nutricionais em ecossistema manguezal. *Acta Botanica Brasilica* 26(1): 11–19.
- Cuzzuol, G.R.F. and A. Campos. 2001. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 24: 227–234.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. *Manual de Métodos de Análises de Solo*. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2009. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*.
- Flowers, T.J. and T.D. Colmer. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *NewPhytologist* 179: 945–963.
- Giri, C., E. Ochieng, L.L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek and N. Duke. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography* 20: 154–159.
- Griffiths, M. E., R. D. Rotjan and G. S. Ellmore. 2008. Differential salt deposition and excretion on leaves of *Avicennia germinans* mangroves. *Caribbean Journal of Science* 44(2): 267–271.
- Hawkesford, M, W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I. S. Møller and P. White. 2012. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, ed. P. Marschner, 135–189. San Diego: Academic Press
- Jimenez, J. A. and A. E. Lugo. 1988. *Avicennia germinans*: black mangrove
- Jones Jr, J.B. and V.W. Case. 1990. Sampling handling, and analyzing plant tissue samples. In *Soil testing and plant analysis*, ed. R.L. Westerman, 389–427. Madison: Soil Science Society of America.

- Kathiresan, K. 2008. Methods of study mangroves. *Handout of Training Course on Mangroves and Biodiversity*. Disponível em <http://ocw.unu.edu/international-network-on-water-environment-and-health/unu-inweh-course-1-mangroves/unu-inweh-course-1-mangroves.zip/view>.
- Kauffman, J. B., C. Heider, T.G. Cole, K. A. Dwire and D. C. Donato. 2011. Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. *Wetlands* 31: 343–353.
- Krug, L.A., C. Leão and S. Amaral. 2007. Dinâmica espaço-temporal de manguezais no Complexo Estuarino de Paranaguá e relação entre decréscimo de áreas de manguezal e dados sócio-econômicos da região urbana do município de Paranaguá – Paraná. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis.
- Lana, P. da C. 1998. Manguezais: diagnóstico, conflitos e prognósticos. In *Meio Ambiente e Desenvolvimento no Litoral do Paraná: Diagnóstico*, ed. R. E. de Lima and R. R. B. Negrelle, 105–115. Curitiba: Editora UFPR.
- Lacerda, L.D.; C. E. Rezende, D. V. José, J. C. Wasserman and M. C. Francisco. 1985. Mineral concentration in leaves of mangrove trees. *Biotropica* 17(3): 260–262.
- Lacerda, L. D., C. E. Rezende, D. V., José and M. C. Francisco. 1986. Metallic composition of mangrove leaves from the southeastern brazilian coast. *Rev. Brasil. Biol.* 46(2):395–399.
- Lin, Yi-Ming, X.-W. Liu, H. Zhang, H.-Q. Fan and G.-H. Lin. 2010. Nutrient conservation strategies of a mangrove species *Rhizophora stylosa* under nutrient limitation. *Plant and Soil* 326(2): 469–479.
- López-Portillo, J. and E. Ezcurra. 1989. Zonation in mangrove and salt marsh vegetation at laguna de mecoacán, México. *Biotropica* 21: 107–144.
- Medina, E. and A.M. Francisco. 1977. Osmolaty and $d^{13}C$ of leaves tissues of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. *Estuarine, Coastal and Shelf* 45: 337–344.
- Mengel, K. 1984. *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Meurer, E.J. 2006. Potássio. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, 281–298. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
- Nielsen, T. and F. φ. Andersen. 2003. Phosphorus dynamics during decomposition of mangrove (*Rhizophora apiculata*) leaves in sediments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 93: 73–88.
- Popp, M. 1984. Chemical composition of Australian mangroves II. Low molecular weight carbohydrates. *Zeitschrift für pflanzenphysiologia.* 113:411–421.
- Raij, B. van. 1983. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba: Instituto da Potassa.
- Schaeffer-Novelli, Y., G. Cintrón-Molero, R. R. Adaimé. 1990. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries* 13: 204–218.
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004. *Comissão de Química e Fertilidade do Solo*. Manual de adubação e de calagem para os estados de RS e SC. 10ª ed. Porto Alegre: SBCS.
- Ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P., 2002. *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5)*. Biometris, Wageningen.
- Tue, N.T., T.D. Quy, H. Hamaoka, M.T. Nhuan and K. Omori. 2012. Sources and exchange of particulate organic matter in an estuarine mangrove ecosystem of Xuan Thuy National Park, Vietnam. *Estuaries and Coasts* 35: 1060–1068.
- Valiela, I., J.L. Bowen and O.K. York. 2001. Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments. *BioScience* 51(10) 807–815.
- Vidal-Torrado, P.; Otero, X. L.; Ferreira, T.; Souza Jr, V; Bicego, M.; García- González, M. T.; Macías, F. 2005. Solos de mangue: características, gênese e impactos Antrópicos. *Edafología* 12(3) 199–244.
- Vitousek, P.M and R. L. Sanford Jr. 1986 Nutrient cycling in moist tropical forest. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 17: 137–67.
- Waisel, Y. 1972. *Biology of halophytes*. New York, Academic Press.
- Wilkie, M.L., S. Fortuna. 2003. Status and trends in mangrove area extent worldwide. Forest Resources Assessment Working Paper 63. Forest Resources Division, FAO, Rome. <http://www.fao.org/docrep/007/j1533e/J1533E00.htm>.
- ZAR, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. New Jarsey: Prentice-Hall
- Zöttl, H.W. 1973. Diagnosis of nutritional disturbance in forest stands International. Symposium on Forest Fertilization. FAO – IUFRO.

Table 1. Geographical localization, climate and edaphic characteristics of studied mangrove areas, State of Paraná, Brazil

	Antonina	Guaratuba
Geographical Coordinates **	25°29'S 48°42'W	25°50'S 48°34'W
Temperature (°C)		
Mínima/máxima *	20.5 (16.7 – 26.4)	20.8 (18.0 -24.2)
Climate	Cfa	Cfa
Annual rainfall (mm) *	2733	3183
Soil type **	Salic-sodic thiomorphic Histosol	Salic-sodic thiomorphic Gleysol
Salinity of interstitial water (‰) **	16,3	24,4
Redox potencial redox (mV) **	-327.2	-316.9

* SIMEPAR (Meteorological System of Paraná). ** Boeger et al. (2011)

Table 2. Chemical characteristics (at 0-10 cm depth) of soil samples collected under the tree crown projection of *A. shaueriana*, *L. racemosa* and *R. mangle* species growing in mangrove areas, State of Paraná, Brazil

	Antonina			Guaratuba		
	<i>A. schaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>	<i>A. schaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>
pH CaCl₂	3.27±0.39aB	3.24±0.38aB	3.26±0.37aB	5.19±0.52aA	5.26±0.65aA	5.16±0.42aA
Al cmol_cdm⁻³	4.38±2.46aA	3.62±1.72aA	4.16±2.09aA	0.30±0.45aB	0.55±0.88aB	0.21±0.59aB
H + Al cmol_cdm⁻³	26.67±8.03aA	26.28±9.22aA	25.95±8.05aA	5.47±2.04aB	5.97±3.45aB	5.23±5.91aB
Ca cmol_cdm⁻³	4.0±1.06aA	4.44±0.82aA	4.19±0.86aA	4.93±0.84aA	5.39±1.34aA	5.78±1.13aA
Mg cmol_cdm⁻³	5.1±0.15aA	5.18±0.12aA	5.18±0.15aA	5.01±0.14aA	5.11±0.12aA	5.18±0.10aA
K cmol_cdm⁻³	0.83±0.30aB	0.99±0.33aB	0.95±0.36aB	1.5±0.13aA	1.5±0.18aA	1.6±0.13aA
P ppm	19.29±3.98aB	19.99±3.82aB	21.43±5.07aB	33.82±3.72aA	36.57±5.31aA	38.12±4.87aA
N g dm⁻³	4.54±0.65aA	4.14±0.54aA	4.21±0.61aA	3.17±0.73bB	3.55±0.68bB	4.07±0.57aA
C g dm⁻³	89.53±1.26bA	80.32±1.63bA	91.52±2.19aA	53.95±1.64bB	59.77±1.21bB	70.99±1.18aB
Na cmol_cdm⁻³	25.03±2.50aA	27.84±2.88aA	26.61±2.35aA	27.42±2.88aA	27.72±3.35aA	28.44±2.98aA
EC dSm⁻¹	12.22±0.93aB	11.46±0.83aB	11.49±1.24aB	14.35±1.92aA	13.88±2.16aA	14.09±1.69aA
C/N	20.12±0.92abA	18.87±2.09bA	21.79±3.13aA	17.40±1.13aB	16.97±1.64aA	17.45±1.63aA
OM	15.40±2.16abA	13.81±2.81bA	15.74±3.76aA	9.28±2.82bB	10.28±2.08bB	12.21±2.04aB
S (Bases)	34.96±3.77aA	38.45±3.83aA	36.93±3.43aA	38.85±3.30aA	39.71±4.58aA	40.99±3.21aA
CEC	61.63±5.23aA	64.73±7.51aA	62.83±5.14aA	44.32±3.45aB	45.68±5.35aB	46.22±6.68aB
V%	58.76±9.53aB	60.58±10.10aB	60.06±9.43aB	86.63±4.00aA	87.13±6.20aA	87.59±7.08aA
m%	20.85±13.78aA	13.49±6.78aA	17.01±10.09aA	1.16±1.75aB	2.19±3.55aB	0.77±2.05aB

Fisher test LSD ($p < 0.05$). Numbers followed by different small letters on the same line, within the same area, are statistically different. Numbers followed by different capital letters in the same line, between areas for the same species, are statistically different. Numbers are referred to mean \pm mean standard deviation.

Table 3. Leaf macronutrient and Na concentrations and net selectivity index for K (net $S_{K:Na}$) of three species (*A. shaueriana*, *L. racemosa* and *R. mangle* growing in mangrove areas, State of Paraná, Brazil

	Antonina			Guaratuba			test LSD Numbers
	<i>A. Schaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>	<i>A. schaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>	
N(g kg⁻¹)	25.90 ± 2.59 aA	13.5 ± 1.11 cA	18.16 ± 1.88bA	22.23 ± 2.23aB	13.3 ± 1.02cA	18.89 ± 1.15bA	
K(g kg⁻¹)	11.92 ± 2.83 aA	5.68 ± 0.78 bA	6.99 ± 0.99bA	13.09 ± 2.43aA	5.50 ± 0.97bA	6.70 ± 0.70bA	
P(g kg⁻¹)	1.95 ± 0.34aA	1.60 ± 0.26bA	1.37 ± 0.27bA	1.63 ± 0.19aA	1.34 ± 0.11bA	1.36 ± 0.09bA	
Ca(g kg⁻¹)	4.22 ± 0.58cA	14.28 ± 2.49aA	10.30 ± 1.21bA	4.86 ± 0.42cA	16.43 ± 2.58aA	10.34 ± 1.75bA	
Mg(g kg⁻¹)	9.2 ± 1.67aA	4.3 ± 0.52bA	4.65 ± 1.26bA	9.71 ± 1.26aA	4.10 ± 0.43bA	4.40 ± 0.81bA	
S (g kg⁻¹)	10.78 ± 2.92aA	5.10 ± 1.15bA	4.36 ± 1.59bA	10.23 ± 2.25aA	5.83 ± 1.29bA	4.91 ± 0.75bA	
Na(g kg⁻¹)	8.35 ± 2.33aA	6.12 ± 1.95bA	6.28 ± 1.18bA	8.39 ± 2.09aA	6.83 ± 2.03bA	7.05 ± 1.27bA	
net $S_{K:Na}$	17.37 ± 2.05aB	8.32 ± 1.05cB	10.61 ± 1.11bB	22.5 ± aA 2.31	19.7 ± 1.32bA	22.7 ± 1.24aA	

Fisher (p<0.05). followed by different small letters on the same line, within the same area, are statistically different. Numbers followed by different capital letters in the same line, between areas for the same species, are statistically different. Numbers are referred to mean ± mean standard deviation.

Table 4. Pearson correlation coefficients determined between some leaf and soil nutrient concentrations. Leaf samples collected from *A. schaueriana*, *L. racemosa* and *R. mangle* tree species and soil samples collected under the tree crown projection in mangrove areas, State of Paraná, Brazil

Antonina														
<i>A. schaueriana</i>				<i>L. racemosa</i>				<i>R. mangle</i>						
	Na _s	K _s	N _p	K _p		Na _s	K _s	N _p	K _p		Na _s	K _s	N _p	K _p
	1	0.96	ns	-0.62		1	0.87	0.72	ns		1	0.94	ns	ns
N _{as}		1	ns	-0.57	N _{as}		1	0.65	ns	N _{as}		1	ns	ns
K _s			1	ns	K _s			1	ns	K _s			1	ns
N _p				1	N _p				1	N _p				1
K _p					K _p					K _p				
Guaratuba														
<i>A. schaueriana</i>				<i>L. racemosa</i>				<i>R. mangle</i>						
	Na _s	K _s	N _p	K _p		Na _s	K _s	N _p	K _p		Na _s	K _s	N _p	K _p
	1	0.91	ns	ns		1	0.94	ns	ns		1	0.84	0.75	ns
N _{as}		1	ns	ns	N _{as}		1	ns	ns	N _{as}		1	ns	ns
K _s			1	ns	K _s			1	ns	K _s			1	ns
N _p				1	N _p				1	N _p				1
K _p					K _p					K _p				

Pearson correlation coefficients at $p < 0.05$; ns – non-significant; Na_s – soil sodium; K_s – soil potassium; N_p – plant nitrogen; K_p – plant potassium.

Table 5. Correlation between the original variable values (of soil chemical attributes and leaf nutrient concentrations –p – of three adult plant species) and the two principal components used to detect differences between the mangrove areas, State of Paraná, Brazil

Soil and plant variables	Principal Component		Principal Component		Principal Component	
	<i>A. shaueriana</i>		<i>L. racemosa</i>		<i>R. mangle</i>	
	1	2	1	2	1	2
	$\lambda = 8.4$	$\lambda = 3.84$	$\lambda = 7.58$	$\lambda = 3.28$	$\lambda = 7.04$	$\lambda = 3.13$
pH	-0.9654	-0.0983	-0.9411	-0.0725	-0.9864	-0.0376
Al	0.9734	0.0047	0.9662	0.0138	0.9782	-0.0893
H+Al	0.9814	-0.1032	0.9747	-0.0839	0.9639	0.1154
Ca	-0.6262	-0.4104	-0.3644	-0.4197	-0.7480	0.1035
Mg	0.0834	-0.7096	0.2309	-0.6181	-0.1292	0.2585
K	-0.9185	-0.1999	-0.8293	-0.3662	-0.8691	0.3624
P	-0.9216	-0.2486	-0.9171	-0.1597	-0.9441	0.0606
N	0.3856	-0.8842	0.5691	-0.6487	0.3527	0.3156
C	0.6996	-0.6586	0.8558	-0.3685	0.6218	0.6365
Na	-0.7519	-0.4853	-0.4225	-0.8556	-0.6973	0.5759
EC	-0.2625	-0.0076	-0.5221	0.5897	-0.6550	-0.3461
C/N	0.7868	0.2943	0.5820	0.1845	0.5121	0.5627
OM	0.7059	-0.6528	0.8544	-0.3695	0.6201	0.6407
N _p	0.5441	-0.5196	-0.4809	-0.3509	-0.2522	-0.0331
K _p	0.3903	0.5424	-0.2393	-0.0957	0.1313	0.4726
P _p	0.3743	-0.4102	-0.0775	-0.6040	0.0212	0.0301
Ca _p	-0.4023	0.0293	-0.5019	0.0818	0.0993	-0.5125
Mg _p	-0.0810	0.3198	0.0344	-0.2578	0.4211	-0.4737
S _p	0.4724	0.6034	0.2225	0.4677	0.0084	-0.5266

K_p – plant potassium; P_p = plant phosphorus; Ca_p = plant calcium; Mg_p = plant magnesium; S_p = plant sulfur.

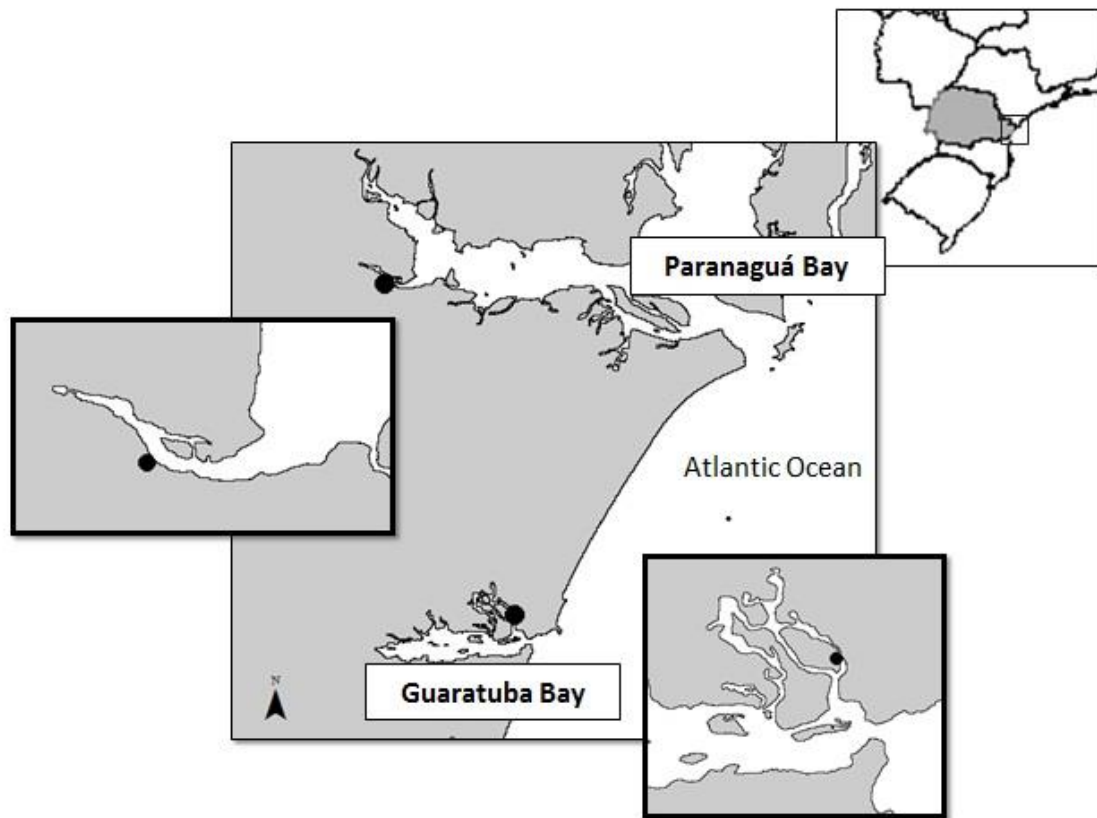


Fig. 1 Study areas analyzed in the mangrove of the estuary of Nhundiaquara River (Antonina, Paraná, Brazil) and mangrove of the estuary of Pinheiros River (Guaratuba, Paraná, Brazil).

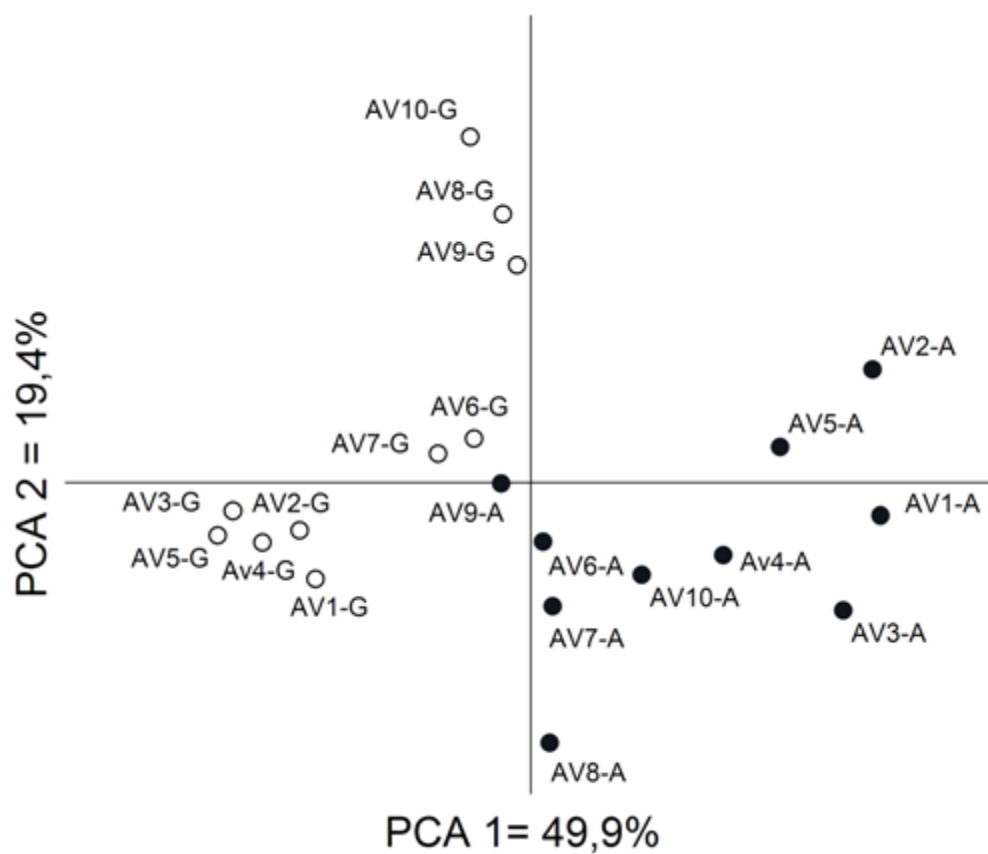


Fig. 2 Principal component analysis (PCA) of soil chemical attributes and leaf nutrient concentrations of *A. shaueriana* (AV), from studied mangrove areas of Antonina (A) and Guaratuba (G), State of Paraná, southern Brazil.

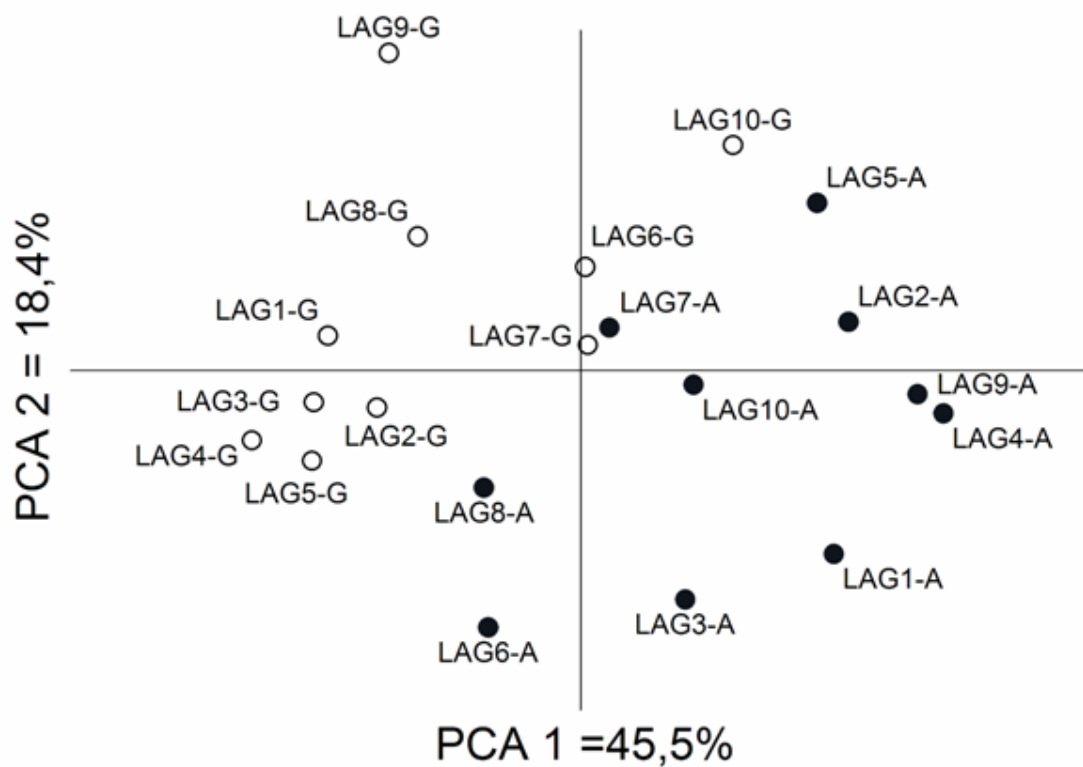


Fig 3 Principal component analysis (PCA) of soil chemical attributes and leaf nutrient concentrations of *L. racemosa* (LAG), from studied mangrove areas of Antonina (A) and Guaratuba (G), State of Paraná, southern Brazil.

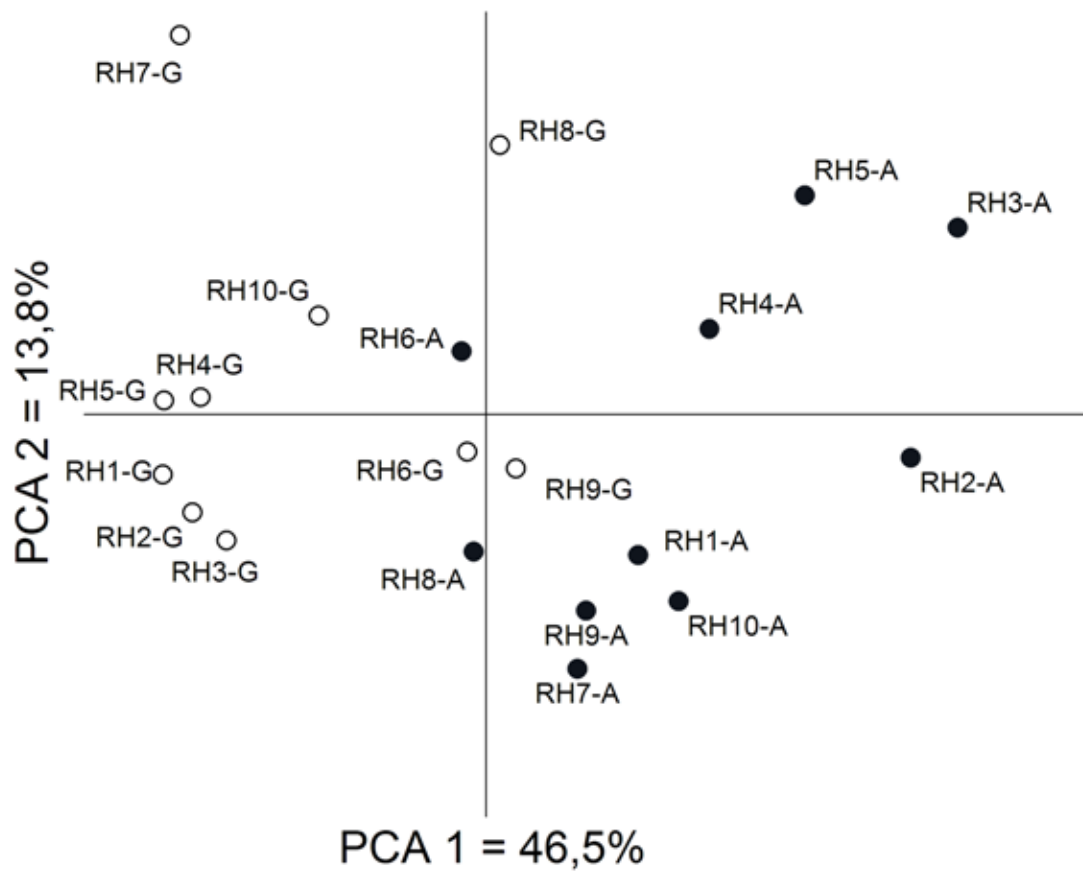


Fig 4 Principal component analysis (PCA) of soil chemical attributes and leaf nutrient concentrations of *R. mangle* (RH), from studied mangrove areas of Antonina (A) and Guaratuba (G), State of Paraná, southern Brazil.

ARTIGO 4

Distribuição de Cu, Fe, Mn e Zn em dois manguezais do sul do Brasil *

Ana Paula Lang Martins Madi^{1,4}; Maria Regina Torres Boeger² Carlos Bruno Reissmann³

1 – Doutoranda do programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19073, Centro Politécnico, Curitiba, PR. 81.531-980. Telephone: + 55 (41) 3361-1755. E-mail: langmartins@hotmail.com

2 – Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19073, Centro Politécnico, Curitiba, PR. 81.531-980.

3 – Departamento de Solos, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, Curitiba, PR. 80.035-020.

4 – Autor para correspondência

Resumo

O objetivo desse estudo foi verificar a relação entre os metais Cu, Fe, Mn e Zn presentes no solo e nos tecidos foliares das plantas dos manguezais de Antonina e Guaratuba no litoral do Paraná, analisando o grau de correlação entre esses dois compartimentos. Em cada manguezal foi delimitada uma área de 1000 m² onde foram amostrados dez indivíduos por espécie, para a coleta do material foliar. Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm, na projeção da copa das árvores selecionadas. Com relação ao perfil de concentração no solo dos manguezais os elementos seguiram a ordem decrescente Fe > Mn > Zn > Cu. As concentrações foliares das espécies estudadas apresentaram variações inter e intraespecíficas. O perfil nutricional dos micronutrientes nas folhas seguiu a ordem decrescente Mn > Fe > Zn > Cu em *A. schaueriana* e *R. mangle*, nas duas áreas estudadas. Para *L. racemosa* há uma inversão entre Fe e Mn nos dois manguezais: Fe > Mn > Zn > Cu. Quatro correlações significativas foram observadas entre Mn, Zn e Cu nos compartimentos solo e planta. Estes resultados sugerem que o número baixo de correlações significativas encontradas deve-se a fatores abióticos (salinidade e variação das marés), mecanismos de inibição aos elementos que ocorrem nas plantas e a imobilização e/ ou adsorção desses metais pelo solo.

Palavras-chave: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, mangue, micronutrientes.

Abstract

The purpose of this study was to verify the relation among Cu, Fe, Mn and Zn, in soils and leaf tissues of *A. shaueriana*, *R. mangle* and *L. racemosa* in the mangroves of Antonina and Guaratuba, litoral of Paraná State, analyzing the level of correlation between these two compartments. In each mangrove, in an area of 1000 m², ten individuals were sampled for leaf collection. Also, soil samples from 0-10 cm depth, were taken under the crown projection area of the selected trees. Both sample matrixes were submitted to chemical analyses. In relation to the element concentration profile of the mangrove soil the elements obeyed the decreasing following order: Fe > Mn > Zn > Cu. For the leaves the nutrient profile was species dependent. For *A. shaueriana* e *R. mangle* the profile was Mn > Fe > Zn > Cu, while for *L. racemosa*, the order of Fe and Mn inverted, resulting a decrescent sequence as follows: Fe > Mn > Zn > Cu. The correlation analysis revealed only a number of four significant correlations for Mn, Zn and Cu in soil and plant compartments. These results suggest that this low number of significant observations is likely dependent of abiotic factors, inhibition between elements and immobilization and/or adsorptions of these metals by the soil.

Key-words: *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, mangrove, micronutrients.

Introdução

Os manguezais são ambientes influenciados por uma interação complexa de fatores bióticos e abióticos que controla a disponibilidade dos nutrientes, metais ou não, para as espécies vegetais (Reef et al., 2010). O solo dos manguezais atua como receptor e retentor de metais, oriundos de diferentes fontes como água doce, água do mar, ou ainda escoamento superficial (Saenger e McConchie, 2004; Kannappan et al., 2012), provenientes tanto dos processos naturais (Kabata-Pendias e Pendias, 2001), como das atividades antropogênicas (Guilherme et al., 2005; Tam e Wong, 2000). No contexto do ecossistema, os metais podem ser classificados além de nutrientes (Broadley et al., 2012), como metais-traço ($< 1 \text{ g kg}^{-1}$) (Guilherme et al., 2005) e metais pesados ($d > 5 \text{ g cm}^3$) (Epstein e Bloom, 2006).

Os metais pesados na função de micronutrientes atendem às necessidades metabólicas das plantas. Na sua deficiência, todo o sistema enzimático fica comprometido (Gupta, 2001), assim como no seu excesso, podem ocorrer alterações da permeabilidade da membrana plasmática e ação inibitória sobre as enzimas, sobretudo aquelas envolvidas na fotossíntese (MacFarlane e Burchett, 1999). Neste sentido, as plantas, de modo geral, reagem de forma distinta quanto à utilização, acúmulo e tolerância aos metais em seus diferentes órgãos (Raij, 2001; MacFarlane et al., 2003).

Nos manguezais, a análise de metais em diferentes órgãos das plantas tem se mostrado uma ferramenta mais apropriada que a análise dos solos. Isto porque, os solos retêm os metais nas diferentes frações e estão sujeitos às variações hidrodinâmicas que ocorrem nesse ecossistema (Saenger e McConchie, 2004; Cuzzuol e Rocha, 2012), enquanto que, os tecidos atuam como bioindicadores (MacFarlane et al., 2003). A evidência de baixa correlação entre metais do solo e dos tecidos foliares (Bhosale, 1979; Peterson et al., 1979; Sadiq e Zaidi, 1994; Cuzzuol e Rocha, 2012) pode significar baixa biodisponibilidade e/ou alta seletividade por parte das plantas (MacFarlane et al., 2003). Além disso, os procedimentos analíticos não demonstram com fidelidade a complexidade dos processos de biodisponibilização, distribuição e assimilação dos elementos que ocorrem nas plantas (Parker et al., 2001). Apesar dessa limitação, a conjunção destes procedimentos permite estimar que os manguezais atuem como eficiente barreira biogeoquímica ao transporte dos metais (Cuzzuol e Rocha, 2012).

A dualidade dos elementos Cu, Fe, Mn e Zn quanto a sua atuação em manguezais, ora como nutriente ora como elemento tóxico tem merecido a atenção em vários estudos (Andrade e Patchineelam, 2000; McFarlane et al., 2003; Kannappan et al., 2012). Este aspecto tem sido investigado nas funções fisiológicas e mecanismos que controlam a absorção, ou exclusão destes metais nas plantas desse ecossistema (Machado et al., 2002; Cuzzuol e Rocha, 2012).

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi verificar a relação entre os metais Cu, Fe, Mn e Zn presentes no solo e nos tecidos foliares das plantas de dois manguezais do litoral do Paraná, com diferente estrutura florestal e de classes distintas de solos (Organossolo e Gleissolo), analisando o grau de correlação entre esses dois compartimentos.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em duas áreas de manguezais do estado do Paraná, nos municípios de Antonina e Guaratuba. Antonina localiza-se no extremo oeste da Baía de Paranaguá, abrangendo uma área de 460 km². A área de Guaratuba localiza-se na Baía de Guaratuba e é o segundo maior complexo estuarino do litoral paranaense com 48,72 km² (Fig. 1). A posição geográfica, características edáficas e climáticas dos manguezais são apresentadas na Tabela 1. Os dados de precipitação e temperatura referem-se ao ano de 2010 e foram cedidos pela estação de Paranaguá do Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar).

Coleta do material

Em cada manguezal foi delimitada uma área de 1000 m² onde foram amostrados dez indivíduos dominantes de cada espécie procurando abranger toda a estreita faixa de mangue, paralelas ao corpo hídrico. Em Antonina, os indivíduos foram marcados na região média do estuário do rio Nhundiaquara e, em Guaratuba, na região média do estuário do Rio dos Pinheiros.

As folhas maduras de *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leachman foram coletadas na parte mediana da copa com exposição norte (Borille et al., 2005), desconsiderando as folhas em

brotação e as senescentes. A coleta do material foliar ocorreu em julho de 2010, com o auxílio de um podão. O material vegetal previamente lavado e seco até peso constante em estufa a 60° foi moído a pó e submetido à digestão nitro-perclórica (Jones and Case 1990). Os metais Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) foram determinados por espectrometria de emissão óptica de plasma de argônio (ICP OES).

Para fins de correlação entre o solo e as plantas, amostras de solo de 0-10 cm (Nielsen e Andersen 2003), de quatro pontos, na projeção da copa das árvores selecionadas foram coletadas (jun/2010) com auxílio de um tubo de PVC com 10 cm de diâmetro. As amostras, após secas ao ar, foram destorroadas e peneiradas, obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA) ($\phi < 2\text{mm}$). As análises foram efetuadas para Cu, Fe, Mn e Zn de acordo com o Manual de Métodos de Análise do Solo (Embrapa, 1997).

Análise dos dados

Análises univariadas foram utilizadas para verificar a resposta das variáveis foliares e pedológicas dentro e entre os manguezais. Dessa maneira, as diferenças entre as mesmas foram verificadas por meio de duas análises de variância (*one-way ANOVA*), tendo como fator as espécies e, posteriormente, os manguezais. As variáveis dependentes foram os micronutrientes do solo e das folhas. O teste de Fisher LSD a 5% de significância procedeu às ANOVAS. As premissas foram checadas mediante o teste de Bartlett a 5% (homogeneidade de variâncias) e Kolmogorov-Smirnov também a 5% (gaussianidade) (Zar, 1999). Correlações de Pearson verificaram as relações entre as variáveis medidas. Todas as análises foram efetuadas com o auxílio do programa Statistica. Nas correlações significativas, ($p < 0,05$) estabeleceram-se equações de regressão.

Resultados

A análise química do solo apresentou altos valores de acordo com os padrões de fertilidade química no Brasil, para os teores de micronutrientes nos dois manguezais estudados. Com relação ao perfil de concentração no solo, os elementos seguiram a ordem decrescente $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$ para todas as espécies estudadas.

O solo de Antonina se destacou pelos maiores valores de Mn e Fe, diferenciando-se estatisticamente do manguezal de Guaratuba, para todas as espécies.

No manguezal de Antonina, apenas o Mn do solo sob *R. mangle* diferiu das duas espécies (Tabela 2).

O solo de Antonina sob as espécies *A. shaueriana* e *L. racemosa* diferenciou-se estatisticamente do solo de Guaratuba quanto ao teor de Zn. Apenas o teor de Cu no solo sob *L. racemosa* diferenciou-se estatisticamente entre os dois manguezais (Tabela 2).

As concentrações foliares das espécies estudadas apresentaram variações inter e intraespecíficas. O perfil nutricional dos micronutrientes nas folhas segue a ordem decrescente $Mn > Fe > Zn > Cu$ em *A. shaueriana* e *R. mangle*, nas duas áreas estudadas. Para *L. racemosa*, há uma inversão entre Fe e Mn nos dois manguezais: $Fe > Mn > Zn > Cu$ (Tabela 3).

Os valores de Cu foliar no manguezal de Guaratuba superam aproximadamente de duas a três vezes os valores de Antonina. Em ambos os manguezais, *L. racemosa* exibiu maiores concentrações de Fe. *Rhizophora mangle* destacou-se por apresentar maiores concentrações de Mn (aproximadamente o dobro em relação à *A. shaueriana* e até cinco vezes para *L. racemosa*) e menores teores de Zn e Cu. Assim como no manguezal de Antonina, em Guaratuba também os teores foliares de Mn diferenciaram-se para todas as espécies (Tabela 3).

Quatro correlações de Pearson significativas ($p < 0,05$) foram observadas entre os elementos estudados nos compartimentos solo e planta: Mn solo x Mn planta em *A. schaueriana* em Antonina ($r = 0,64$) e em Guaratuba ($r = 0,74$); Zinco solo x Zn planta ($r = 0,65$) e Cu solo x Cu planta ($r = -0,85$), ambas em *L. racemosa* em Guaratuba. A relação expressa na forma de regressão dimensionou o comportamento entre as concentrações foliares e os teores no solo (Figuras 2a, 2b, 2c, 2d).

Discussão

As diferenças nos teores de Fe, Mn, Cu e Zn do solo, nas áreas estudadas, tanto entre as espécies como entre os manguezais, podem ser atribuídas às variações temporais (Cuzzuol e Rocha, 2012) e às variações espaciais, às quais têm relação com os atributos físico-químicos do solo (Bernini et al., 2006, 2010). A variação das marés também interfere na disponibilidade dos elementos químicos (Lacerda et al., 1986), resultando no efeito concentração/diluição dos nutrientes nesse ecossistema (Ong Che, 1999).

Os teores dos micronutrientes no solo para os dois manguezais estudados são muito altos, superando duas vezes (no caso do Cu) ou até cem vezes (no caso do Mn) os níveis superiores de referência padrão em fertilidade do solo (SBCS, 2004). No entanto, os altos valores, neste caso, parecem não representar um aspecto negativo às plantas, sendo atenuados por uma série de fatores bióticos e abióticos (Lacerda et al., 1993; Machado et al., 2005; Jiang et al., 2009).

As condições anóxicas do solo propiciam a formação de sulfetos (Vidal-Torrado et al., 2005) indisponibilizando a absorção dos elementos pelas plantas (Lacerda, 1993). Além disso, na interface solo-raiz ocorre a oxidação de Fe e Mn, formando placas de Fe, representando mais uma barreira à absorção destes elementos pelas plantas (Lacerda et al., 1993; Machado et al., 2005; Jiang et al., 2009). As placas de Fe são oriundas da oxidação da rizosfera via aerênquima das raízes, que difundem oxigênio no solo rizosférico (Ong Che, 1999) e se constituem de uma mistura de hidróxidos férricos (Wang e Peverly, 1996). Essas placas são capazes também de reter Zn e Cu na forma adsorvida, eventualmente, podendo ser desorvidos e utilizados pela planta (Otte, 1989).

Esses mecanismos não ocorrem de maneira igualitária entre as espécies, uma vez que dependem de processos de indução na rizosfera (Hinssinger, 1998). No caso do Cu, a forte complexação com a matéria orgânica do solo (Abreu et al., 2001) e a retenção nas paredes das células radiciais (Macfarlane et al., 2003) representam uma inibição ascendente deste elemento às plantas (Amberger, 1988). Em ambientes anóxicos, o Mn tende a sofrer redução e aumento de sua disponibilidade (Motta et al., 2007). Ao contrário do Cu, o Mn tende a ter maior acúmulo na parte aérea da planta do que nas raízes (Cicad, 2004).

A composição do material de origem e as formas de ocorrência dos micronutrientes no solo refletem na sua disponibilidade às plantas, bem como, na interação entre estas e o solo (Motta et al., 2007). Porém, o perfil nutricional do solo não se refletiu integralmente nas três espécies. Apenas em *L. racemosa*, há correspondência entre o perfil foliar com o solo.

Os valores médios das concentrações foliares encontram-se dentro da faixa descrita na literatura para os manguezais brasileiros (Cuzzuol e Rocha 2012; Bernini et al. 2010; Bernini e Rezende 2010).

A variação dos teores foliares observada entre as espécies estudadas (Tabela 3) é atribuída em parte à condição de sal excludente das espécies do gênero *Rhizophora*, ou

sal incluído das espécies do gênero *Avicennia* e *Laguncularia* (Lacerda et al., 1985; Bernini et al., 2006). Especificamente, os baixos teores foliares de Fe, Zn e Cu para *R. mangle*, pode ser atribuído ao mecanismo de exclusão de sal que afeta a absorção destes elementos (Lacerda et al., 1985).

Machado et al. (2005), estudando manguezais no sudeste do Brasil, constataram que *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* desenvolveram eficientes mecanismos de inibição de Fe, Mn e Zn pela formação de placas de Fe. Segundo este autor, a inibição da ascensão de Fe e Zn às folhas ocorreu dentro dos tecidos das raízes, enquanto que para o Mn o impedimento se deu pela imobilização no solo da rizosfera.

Os maiores teores de Mn em *R. mangle* e Fe em *L. racemosa* também foram observados em outros manguezais brasileiros (Cuzzuol e Campos, 2001; Bernini et al., 2006). No caso do Fe, em específico, além do acima exposto, considera-se a eficiência genética das plantas em mecanismos envolvendo alterações morfológicas e anatômicas das raízes (Röhmheld e Marschner, 1986; Mengel e Kirkby, 1987). Essas alterações atuam no desenvolvimento de estruturas celulares com capacidade de absorver Fe, na forma reduzida (White, 1912).

A constatação das correlações solo-planta, encontradas para Mn, Zn e Cu, diverge de alguns estudos que não as têm observado (Cuzzuol e Campo, 2001; Defew et al., 2005; Bernini et al., 2006). No entanto, MacFarlane et al. (2003) estudando *A. marina* observaram uma correlação para o Zn ($r=0,62$), em manguezais australianos e Ong Che (1999) mostrou uma correlação positiva para Cu ($r=0,89$, $p<0,05$), porém, entre tecidos das raízes e o solo do manguezal.

Essa controvérsia se deve a vários fatores (edáficos e especiação de metais) que interferem nessa relação (Ong Che, 1999), incluindo mecanismos de aquisição de íons e absorção das raízes (Hinssinger, 1998), procedimentos analíticos das amostras, principalmente no caso do Mn (Andrade et al., 2005) e escolha do tecido estudado (MacFarlane et al., 2003; Defew et al., 2005).

Em *A. schaueriana*, as correlações entre Mn solo e Mn planta nos dois manguezais estudados podem ser atribuídas a maior variabilidade espacial desse elemento dentro das áreas, gerando um gradiente de concentração refletido nas folhas (Tam e Wong, 2000). A correlação entre Zn solo e Zn planta em *L. racemosa* no manguezal de Guaratuba pode ser também atribuída à disponibilidade localizada do Zn

no solo, associada à variabilidade espacial, permitindo a absorção proporcional pelas plantas (Tam e Wong, 1995, 2000).

As curvas de regressão para o Mn permitiram observar uma tendência ainda crescente ao nível de 80 e 40 mg g⁻¹ Mn solo para os manguezais de Antonina e Guaratuba, respectivamente (Figuras 2a e 2b). A curva para o Zn demonstrou uma saturação foliar a partir de aproximadamente 7 mg g⁻¹ de Zn no solo (Figura 2c). As tendências distintas para Mn e Zn remetem às particularidades inerentes destes elementos, interações com o solo da rizosfera e características específicas da planta (Lombi et al., 2001).

A presença da correlação negativa entre Cu solo e Cu planta, em *L. racemosa* no manguezal de Guaratuba, não é atribuída somente pela forte retenção do Cu na matéria orgânica e nas raízes. A correlação solo-planta para Cu tem sido verificada em baixas concentrações no solo (MacFarlane et al., 2003). Estudos desenvolvidos com *A. marina* demonstraram que a partir de uma determinada concentração no solo (200 ppm), o Cu acumula-se na raiz sem haver translocação para a parte aérea (MacFarlane e Burchett, 2002), evidenciando o bloqueio do Cu nas raízes.

Além dos fatores já conhecidos que afetam a concentração de Cu, Fe, Mn e Zn foliares em manguezais, tais como a variação das marés e salinidade da água intersticial, a imobilização e/ou adsorção desses metais pelo solo é grande nesse ecossistema. Esse fato contribuiu para o número baixo de correlações significativas encontradas entre os nutrientes do solo e os das plantas. Muito embora, a alta correlação verificada para Mn e Zn, nas áreas estudadas, mostrou-se bastante promissora no estudo dos elementos metálicos nos manguezais. Ainda, sobre o entendimento das relações solo-planta e a quantidade de correlações significativas entre os compartimentos solo e planta, deve-se considerar os diversos órgãos analisados das plantas, bem como, métodos analíticos ajustados para esse tipo de ambiente.

Os dados evidenciam, conforme já verificado em outros estudos, que a vegetação dos manguezais atua como barreira biogeoquímica no transporte e exportação de metais entre o manguezal e o ecossistema costeiro adjacente.

Agradecimentos À Petrobras e Fundação Araucária (Convênio 412/09 protocolo 12499) pelo apoio financeiro. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida à primeira autora e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade (301561/2010-9) concedida à segunda autora.

Referências

- Abreu, C. A., Ferreira, M. E., Borkert, J. C. 2001. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre, in: Ferreira, M. E., Cruz, M. C. P.; Van Raij, B., Abreu, C.A. (Eds.), Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. CNPq/FAPESP/POTATOS, Jaboticabal, pp.125-150.
- Amberger, A. 1988. Pflanzenernährung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Andrade, R. C. B. de, Patchineelam, S. R. 2000. Especificação de metais-traço em sedimentos de florestas de manguezais com *Avicennia* e *Rhizophora*. Química Nova 23(6), 733-736.
- Andrade, E., Miyazawa, M., Pavan, M. A., Oliveira, E. L. de. 2005. Re-evaluation of Manganese Solubility as Affected by Soil Sample Preparation in the Laboratory. Brazilian Archives of Biology and Technology, 48(4): 643-646.
- Bernini, E., Silva, M.A., Carmo, T. M., Cuzzuol, G. R. F. 2006. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. Revista Brasileira de Botânica 29: 686-699.
- Bernini, E., Rezende, C.E. 2010. Concentração de nutrientes em folhas e sedimentos em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro. Revista Gestão Costeira Integrada, 2, 1-10.
- Bernini, E., Silva, M.A.B. da, Carmo, T.M.S. do, Cuzzuol, G.R.F. 2010. Spatial and temporal variation of the nutrients in the sediment and leaves of two Brazilian mangrove species and their role in the retention of environmental heavy metals. Brazilian Society of Plant Physiology, 22(3): 177-187.
- Bhosale, L. J. 1979. Distribution of trace elements in the leaves of mangroves. Indian Journal of Marine Science, 8:58-59.
- Borille, A. M. W.; Reissmann, C. B.; Freitas, R. J. S. 2005. Relação entre compostos fitoquímicos e o nitrogênio em morfotipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) B. Ceppa, 23(1) 183-198.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., ZHAO, F. 2012. Functions of Micronutrients, in: Marschner, P.(Ed.), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, London, pp. 191-248.
- CICAD. Concise International Chemical Assessment Document. 2004 Manganese and its compounds: environmental aspects. Geneva: World Health Organization. 61p.
- Cuzzuol, G.R.F., Rocha, A. C. 2012. Interação do regime hídrico com as relações nutricionais em ecossistema manguezal. Acta Botanica Brasilica, 26(1): 11-19.
- Cuzzuol, G.R.F., Campos, A. 2001. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. Revista Brasileira de Botânica, 24: 227-234.
- Defew, L. H., Mair, J. M., Guzman, H. M. 2005. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. Marine Pollution Bulletin, 50:547-552.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Centro Nacional de Pesquisas de Solo. Manual de Métodos de Análises de Solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPq.
- Epstein, E., Bloom, A. J. 2006. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta. 403p.

- Guilherme, L.R.G., Marques, J.J., Pierangeli, M.A.P., Zuliani, D.Q., Campos, M. L., Marchi, G. 2005. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos, in: Vidal-Torrado, P., Alleoni, L.R.F., Cooper, M., Silva, A.P. (Eds.), Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, pp.345–390.
- Gupta, U.C. 2001. Micronutrientes e elementos tóxicos em plantas e animais, in: Ferreira, M.E., Cruz, M.C.P., Van Raij, B., Abreu, C.A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. CNPq/FAPESP/POTAFOS, Jaboticabal, pp. 13–42.
- Hissinger, P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advances in Agronomy* 64: 225–265.
- Jiang, F. Y., Chen, X., Luo, A. C. 2009. Iron plaque formation on wetland plants and its influence on phosphorus, calcium and metal uptake. *Aquat Ecol* 43: 879-890.
- Jones Jr, J.B.; Case, V.W. 1990. Sampling handling, and analyzing plant tissue samples, in: Westerman, R. L. (Ed.), *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America, Madison, pp.389–427.
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3.ed. Boca Raton, CRC Press. 413p.
- Kannappan, T., Shanmugavelu, M., Karthikeyan, M. M. 2012. Concentration on heavy metals in sediments and mangroves from Manakudy Estuary (South West Coast of India). *European Journal of Biological Sciences*, 4 (4):109-113.
- Lacerda, L.D., Rezende, C.E., José, D. V., Wasserman, J. C., Francisco, M. C. 1985. Mineral concentration in leaves of mangrove trees. *Biotropica*, 17(3): 260–262.
- Lacerda, L. D., Rezende, .C.E., José, D.V., Francisco, M. C. 1986. Metallic composition of mangrove leaves from the southeastern brazilian coast. *Rev. Brasil. Bio.*, 46(2):395–399.
- Lacerda, L. D., Carvalho, C. E. V., Tanizaki, K. F., Ovallel, A. R. C., Rezende, C. E. 1993. The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rhizospheres. *Biotropica* 25:252–257.
- MacFarlane, G. R., Burchett, M. D. 1999. Zinc distribution and excretion in the leaves of the grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potencial. *Environmental and Experimental Botany*, 41:167–175.
- MacFarlane, G. R., Burchett, M. D. 2002. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. *Marine Environmental Research*, 54:65–84.
- MacFarlane, G. R., Pulkownik, A., Burchett, M. D. 2003. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potencial. *Environmental Pollution*, 123: 139–151
- Machado, W.; Moscatelli, M.; Rezende, L. G.; Lacerda, L. D. 2002. Mercury, zinc and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environmental Pollution*, 120(2): 455-461.
- Machado, W., Gueiros, B. B., Lisboa-Filho, S. D., Lacerda, L. D. 2005. Trace metals in mangrove seedlings: role of iron plaque formation. *Wetlands Ecology and management*, 13(2):199-206.
- Mengel, K., Kirkby, E. 1987. Principles of plant nutrition. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 687p.
- Motta, A.C.V, Serrat, B. M., Reissmann C. B., Dionísio, J. A. 2007. Micronutrientes na Rocha, no Solo e na Planta. 1 ed. Curitiba:UFPR, 242p.
- Nielsen, T. , Andersen, F. φ. 2003. Phosphorus dynamics during decomposition of mangrove (*Rhizophora apiculata*) leaves in sediments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 93: 73–88.
- Ong Che, R. G. 1999. Concentration of 7 heavy metals in sediments and mangrove root samples from Mai Po, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 39: 269–279.
- Otte, M. L., Rozena, J., Koster, L., Haarsma, M. S. 1989. Iron plaque on roots of *Aster tripolium* L., interaction with zinc uptake. *New Phytol.*, 111:309–317.
- Parker, D.R., Pedlar, J.F., Ahnstrom, Z.A.S. and Resketo, M. 2001. Reevaluating the free-ion activity model of trace element metal toxicity towards higher plants: experimental evidence with copper and zinc. *Environmental toxicology and chemistry*. 20: 899-906.

- Peterson, P. J., Burton, M. A. S., Gregson, M., Nye, S. M., Porter, E. K. 1979. Accumulation of tin by mangrove species in West Malaysia. *The Science of the Total Environment*, 11:213–221.
- Raij, B. van 2001. Pesquisa e Desenvolvimento em Micronutrientes e Metais Pesados, Ferreira, M. E., Cruz, M. C. P.; Van Raij, B., Abreu, C.A. (Eds.), *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. CNPq/FAPESP/POTATOS, Jaboticabal, pp.1-10.
- Reef, R.; Feller, I. C.; Lovelock, C. E. Nutrition of mangroves. *Tree Physiology*, v.30, p. 1148–1160, 2010.
- Röhmheld, V., Marschner, H. 1986. Mobilization of iron in the rhizosphere of different plant species, in: Tinker, B., Läuchli, A. (Eds.), *Advances in Plant Nutrition* vol. 2. Praeger Scientific, New York, pp. 155–204.
- Sadiq, M., Zaidi, T. H. 1994. Sediment composition and metal concentration in mangrove leaves from the Saudi coast of the Arabian Gulf. *The Science of the Total Environment*, 155: 1–8.
- Saenger, P., McConchie, D. Heavy metals in mangroves: methodology, monitoring and management. *Envis Forest Bulletin*, 4:52–62.
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados de RS e SC. 10ª ed. Porto Alegre: SBCS.
- Tam, N. F. Y., Wong, Y. S. 1995. Retention and distribution of heavy metals in mangrove soils receiving wastewater. *Environmental Pollution*, 94:283–291.
- Tam, N. F. Y., Wong, Y. S. 2000. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 110: 195–205.
- Vidal-Torrado, P., Otero, X. L., Ferreira, T., Souza Jr, V, Bicego, M.; García- González, M. T., Macías, F. 2005. Solos de mangue: características, gênese e impactos Antrópicos. *Edafología*, 12(3): 199–244.
- Wang T, Peverly JH. 1996. Oxidation states and fractionation of plaque iron on roots of common reeds. *Soil Science Society of America Journal*, 60: 323–329
- White, P. J. 2012. Ion Uptake Mechanisms of Individuals Cells and Roots: Short-distance Transport, in: Marschner, P. (Ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, London, pp. 7–47.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. New Jarsey: Prentice-Hall.

Tabela 1 Posição geográfica, características climáticas e edáficas dos manguezais de Antonina e Guaratuba.

	Antonina	Guaratuba
Posição Geográfica	25°29'S 48°42'W	25°50'S 48°34'W
Temp. média (°C) Mínima/Máxima*	20,5°C (16,7°C/26,4°C)	20,8°C (18,0°C/24,2°C)
Clima*	Cfa	Cfa
Precipitação anual*	2733 mm	3183 mm
Tipo de solo**	Organossolo tiomórfico sálico sódico	Gleissolo tiomórfico sálico sódico
Salinidade da água intersticial (%)**	16,3‰	24,4‰
Potencial redox (mV)**	-327,2mV	-316,9mV

* SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná). ** Boeger et al. (2011)

Tabela 2 Micronutrientes do solo sob as espécies *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, nos manguezais de Antonina e Guaratuba, em profundidade 0-10 cm.

	Antonina			Guaratuba		
	<i>A. schaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>	<i>A. schaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>
Fe sol (mg dm⁻³)	319±6,43 aA	320± 4,69aA	310±5,12 aA	265±7,65 aB	261±9,96 aB	268±4,41 aB
Cu sol (mg dm⁻³)	1,6±2,30 aA	0,9± 0,25aB	1,4±0,27 aA	2,0±0,18 aA	1,9±0,25aA	1,8±0,21 aA
Mn sol (mg dm⁻³)	58± 15,04aA	52±9,43aA	40±8,73bA	22±10,55aB	21±8,94aB	29±6,40 aB
Zn sol (mg dm⁻³)	8,9±1,66 aA	8,8±1,81aA	8,7±2,50aA	5,3±2,09 bB	6,1±1,81abB	7,2±2,30aA

Teste Fisher LSD ($p < 0,05$). Valores com letra minúscula diferentes, na mesma linha na mesma área, são estatisticamente diferentes. Valores com letra maiúscula diferentes, na mesma linha, entre áreas para a mesma espécie são estatisticamente diferentes. Os valores que seguem as médias representam o desvio-padrão.

Tabela 3 Valores médios da concentração de metais nas folhas das espécies *A. shaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* dos manguezais de Antonina e Guaratuba.

	Antonina			Guaratuba		
	<i>A.Schaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>	<i>A.schaueriana</i>	<i>L. racemosa</i>	<i>R. mangle</i>
Cu(mg kg⁻¹)	1.4±0.60aB	0.8±0.35abB	0.7±0.60bB	2.7±0.57aA	2.3±0.48aA	1.5±0.90bA
Fe(mg kg⁻¹)	108±22.81bA	330±136.5aA	57±12.4bA	98±15.7bA	179±41.8aB	70±13.9bA
Mn(mg kg⁻¹)	138±29.7bA	71±19.71cA	339±38.42aA	185±13.85bA	70±7.89cA	345±73.23aA
Zn(mg kg⁻¹)	12.7±2.48aB	14.3±1.95aB	5.1±1.96bA	16.9±2.71aA	16.4±1.19aA	5.7±0.77bA

Teste Fisher LSD (p<0,05). Valores com letra minúscula diferentes, na mesma linha na mesma área, são estatisticamente diferentes. Valores com letra maiúscula diferentes, na mesma linha, entre áreas para a mesma espécie são estatisticamente diferentes. Os valores que seguem as médias representam o desvio-padrão.

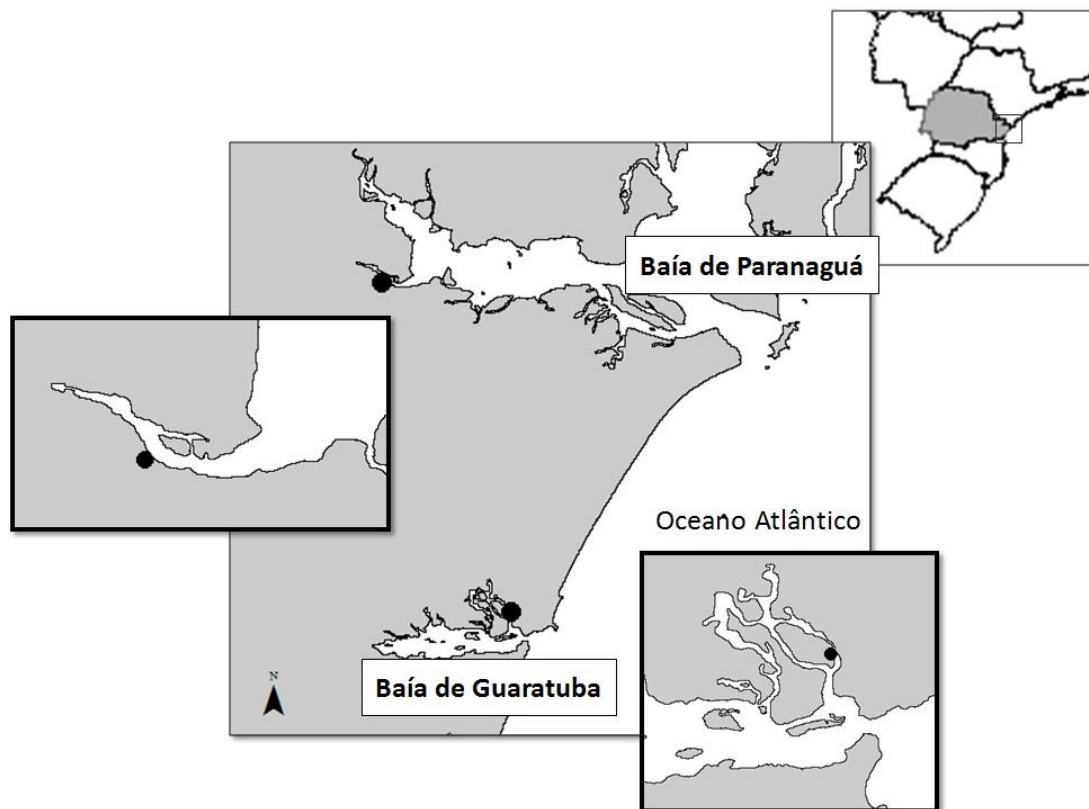
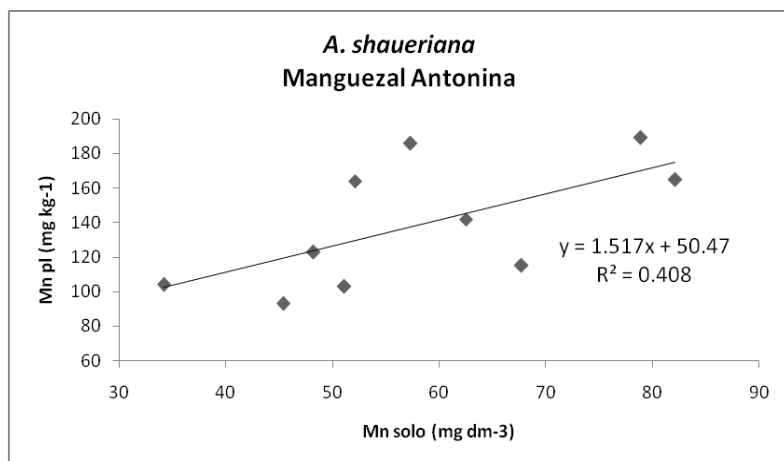
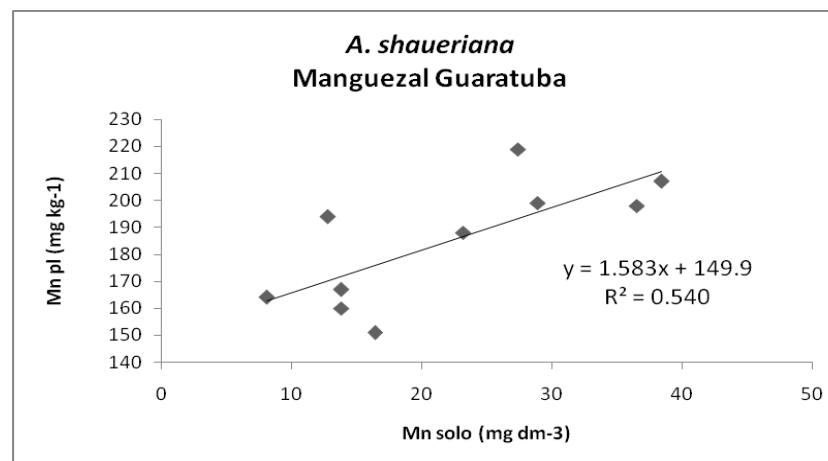


Fig. 1 Áreas de estudo analisadas no manguezal do estuário do Rio Nhundiaquara (Antonina, Paraná, Brasil) e manguezal do estuário do Rio dos Pinheiros (Guaratuba, Paraná, Brasil).

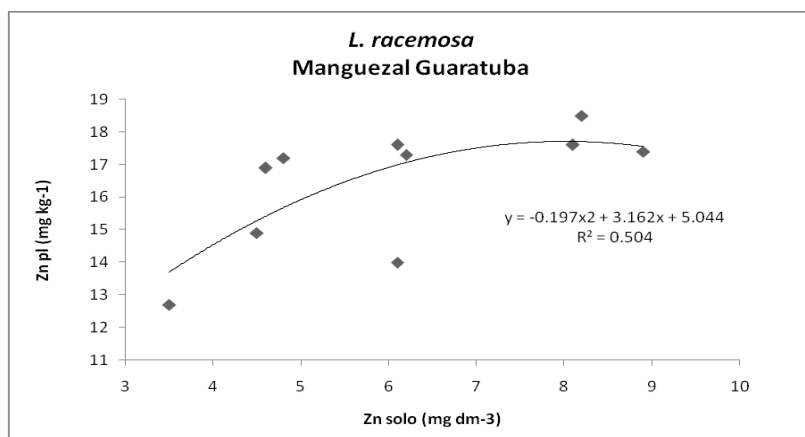
(A)



(B)



(C)



(D)

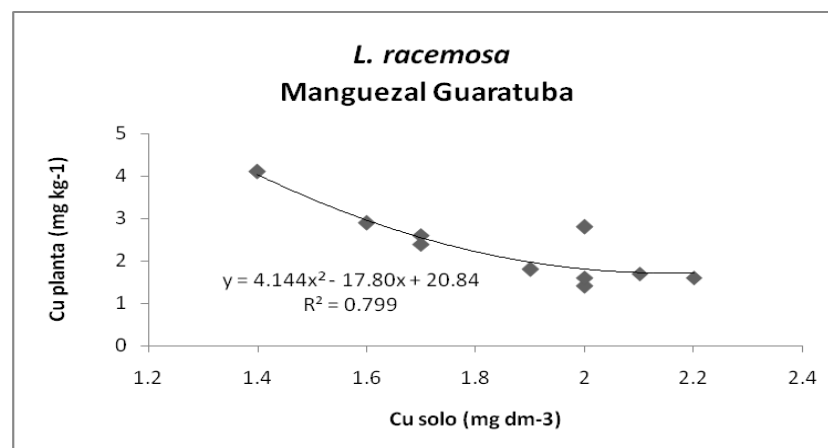


Fig. 2 Curvas de regressão entre Mn solo e Mn planta no manguezal de Antonina (A) Mn solo e Mn planta no manguezal de Guaratuba (B) Zn solo e Zn planta no manguezal de Guaratuba (C) Cu solo e Cu planta no manguezal de Guaratuba. Mn: manganês; Zn: zinco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa ente as duas áreas estudadas mostrou que os manguezais distinguem-se quanto à estrutura vegetacional do componente de regeneração e arbóreo assim como em relação ao status nutricional das espécies vegetais e do solo.

Indivíduos de *Avicennia shaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* foram encontrados em ambos manguezais e em todas as áreas estudadas - em Antonina (A1, A2 e A3) e Guaratuba (G1, G2 e G3) - tanto para o componente de regeneração quanto para o componente arbóreo.

A variação no total de plântulas amostradas entre as áreas foi expressiva para indivíduos das espécies *A. shaueriana* (1 indivíduo em Antonina e 184 em Guaratuba) e *L. racemosa* (857 indivíduos em Antonina e 200 em Guaratuba). A alta variabilidade dos atributos fitossociológicos, principalmente a densidade, altura e diâmetro a base do caule, entre as áreas para o componente de regeneração natural, refletiu nas diferenças entre os manguezais estudados.

Para o componente arbóreo não ocorreu um padrão homogêneo entre as áreas. Esse resultado foi observado na análise de PCoA, onde a densidade absoluta das espécies foi um dos parâmetros que mais influenciou na distinção entre as áreas. A análise estrutural também demonstrou diferenças na altura média dos indivíduos entre as áreas estudadas. Em ambos os manguezais, observou-se uma grande variação na altura e no DAP dos indivíduos. Essas diferenças entre as áreas parecem estar relacionadas com as diferentes respostas adaptativas à variação de salinidade que as espécies apresentam no ambiente em que estão inseridas.

Nos manguezais estudados, observou-se ainda a ocorrência de manchas estruturalmente bem desenvolvidas, com alturas médias e DAP superiores ao de outros indivíduos, das três espécies, dentro das áreas, formando um mosaico. Este fato pode explicar a diferença entre os manguezais, uma vez que o tamanho dessas manchas diferiu dentro das áreas estudadas.

A análise nutricional das folhas para macronutrientes e Na de *A. shaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*, desenvolvendo-se sobre a mesma classe de solo, Organossolo em Antonina e Gleissolo em Guaratuba, indicou concentrações de nutrientes distintas. Em termos de concentração nos tecidos foliares, pode-se resumir o seguinte perfil nutricional $N > K > S > Mg$

> Na > Ca > P para *A. shaueriana*, nos dois manguezais; Ca > N > K > Na > S > Mg > P para *L. racemosa* em Antonina e Ca > N > Na > S > K > Mg > P em Guaratuba; N > Ca > K > Na > S > Mg > P para *R. mangle*, em Antonina, havendo uma inversão Na > K em Guaratuba. Esses resultados demonstraram que o estado nutricional das espécies é distinto e individualizado, independente dos atributos do solo em que se encontram as plantas.

Avicennia shaueriana à exceção do Ca, foi a espécie que se destacou pelos maiores valores de concentração dos nutrientes, bem como, pelo maior índice de seletividade líquida para K, em presença de altos índices de saturação por sódio, em ambos manguezais estudados.

O perfil nutricional dos micronutrientes nos tecidos foliares apresentou a seguinte ordem Mn > Fe > Zn > Cu para *A. shaueriana* e *R. mangle*, nos dois manguezais; Fe > Mn > Zn > Cu para *L. racemosa*, nos dois manguezais. O grupo dos micronutrientes metálicos, Cu, Fe, Mn e Zn, tem sua concentração foliar fortemente afetada pela variação das marés e salinidade da água intersticial estando sujeitos à solubilização, imobilização e/ou adsorção desses metais pelo solo e interface solo-raiz. Esse fato pode ter contribuído para o baixo número de correlações significativas entre os nutrientes do solo e os das plantas. Muito embora, as correlações verificadas para Mn e Zn, nos compartimentos solo e planta, nas áreas estudadas, mostraram-se bastante promissora para o entendimento dos elementos metálicos nos manguezais.

A maior eficiência de uso de nutrientes (EUN), observada em *L. racemosa* para N, K, P, Mg e Na e em *A. shaueriana* e *R. mangle* para Ca e S, indicou que as espécies estudadas apresentaram estratégias diferenciadas quanto ao acúmulo e utilização dos nutrientes. Porém, nem sempre o maior acúmulo de determinado nutriente significa uma menor eficiência no seu uso, particularmente em função das várias estratégias utilizadas pelas plantas para a manutenção do equilíbrio químico.

Dessa forma, esse estudo demonstrou que na análise fitossociológica das áreas, os fatores locais, mais especificamente o tipo de solo e salinidade intersticial da água, foram determinantes na distinção das áreas estudadas. Em relação à composição química das espécies vegetais, no entanto, as diferenças das características no solo não foram suficientes para alterar o perfil nutricional das espécies, sugerindo absorção seletiva dos nutrientes pelos indivíduos das espécies de mangue.

REFERÊNCIAS GERAIS

BERNINI, E.; SILVA, M.A.; CARMO, T.M.; CUZZUOL, G.R.F. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, p.686–699, 2006

BERNINI, E.; REZENDE, C.E. Concentração de nutrientes em folhas e sedimentos em um manguezal do norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Gestão Costeira Integrada**, v.2, p.1–10, 2010.

CITRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la ecología del manglar**. San Juan:Rostlac, 1983. 109p.

CUZZUOL, G.R.F.; ROCHA, A. C. Interação do regime hídrico com as relações nutricionais em ecossistema manguezal. **Acta Botanica Brasilica**, v.26, n.1, p.11–19, 2012.

DITTMAR, T.; HERTKORN, N.; KATTNER, G.; LARA, R.J. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans, **Global Biogeochemical Cycles**, v. 20, n.1, p.1–7,2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2009. 367p.

GIRI, C.; OCHIENG E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; N. DUKE. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, p.154–159,2011

GRIFFITHS, M. E.; ROTJAN, R. D.; ELLMORE, G. S. Differential salt deposition and excretion on leaves of *Avicennia germinans* mangroves. **Caribbean Journal of Science**, v. 44, n.2, p.267–271, 2008.

KANNAPPAN, T.; SHANMUGAVELU, M.; KARTHIKEYAN, M. M. Concentration on heavy metals in sediments and mangroves from Manakudy Estuary (South West Coast of India). **European Journal of Biological Sciences**, v.4, n.4, p.109–113, 2012.

KATHIRESAN, K. Methods of study mangroves. **Handout of Training Course on Mangroves and Biodiversity**. 2008. Disponível em <http://ocw.unu.edu/international-network-on-water-environment-and-health/unu-inweh-course-1-mangroves/unu-inweh-course-1-mangroves.zip/view>.

KAUFFMAN, J. B.; HEIDER, C.; COLE, T. G.; DWIRE, K. A.; DONATO, D. C. Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. **Wetlands**, v.31, p.343–353, 2011.

LACERDA, L. D. Manguezais: florestas de beira mar. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 3, n.13, p.62-70, 1984

ODUM, W.E.; MCLVOR, C.C.; SMITH, T.J. **The ecology of the mangroves of South Florida: a community profile**. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. Washington, D.C. 1982. 144 p.

REEF, R.; FELLER, I. C.; LOVELOCK, C. E. Nutrition of mangroves. **Tree Physiology**, v.30, p. 1148–1160, 2010.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G.; ADAIME, R. R.; CAMARGO, T. M. Variability of the mangroves ecosystem along the Brazilian coast. **Estuaries**, Port Republic, v.13, n.2, p.201-218, 1990.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum**. São Paulo: Caribbean Ecological Research. 2000. 119p.

SOARES, M.L.G. 1999. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v.59, n.3, p.503-515, 1999.

TUE, N.T.; QUY, T. D.; HAMAOKA, H.; NHUAN, M. T.; OMORI, K. Sources and exchange of particulate organic matter in an estuarine mangrove ecosystem of Xuan Thuy National Park, Vietnam. **Estuaries and Coasts**, v.35, p.1060–1068, 2012.

TWILLEY, R.R., CHEN, R. A water budget and hydrology model of a basin mangrove forest in Rookery Bay, Florida. **Marine and Freshwater Research**, Melbourne, v.49, p.309-323, 1998.

VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X. L.; FERREIRA, T.; SOUZA Jr, V; BÍCEGO, M.; GARCÍA- GONZÁLEZ, M. T.; MACÍAS, F. Solos de mangue: características, gênese e impactos Antrópicos. **Edafología**, v.12, n.3, p.199–244, 2005.

YOKOYA, N. S. Distribuição e Origem In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (Org.). **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. Caribbean Ecological Research. São Paulo. 64p. 1995.