



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p433-438>

Composição química do solo e das folhas e eficiência do uso de nutrientes por espécies de manguezal

Ana P. L. M. Madi¹, Maria R. T. Boeger² & Carlos B. Reissmann³

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação/Setor de Ciências Biológicas/Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. E-mail: langmartins@hotmail.com (Autora correspondente)

² Departamento de Botânica/Setor de Ciências Biológicas/Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. E-mail: rboeger@ufpr.br

³ Departamento de Solos e Engenharia Agrícola/Setor de Ciências Agrárias/Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. E-mail: karlbreis@yahoo.com.br

Palavras-chave:

Avicennia schaueriana
Laguncularia racemosa
Rhizophora mangle

RESUMO

A composição química do solo e das folhas e a eficiência do uso de nutriente por *Avicennia schaueriana* Stapf & Leachman, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L. foram analisadas num manguezal de Guaratuba, PR. Dada à complexa interação entre os fatores bióticos e abióticos dos manguezais, empregou-se o estudo da eficiência do uso de nutrientes (EUN). Dez indivíduos, por espécie, foram demarcados para coleta das folhas. Amostras de solo entre 0-10 cm de profundidade foram coletadas na projeção de cada árvore selecionada. As características químicas do solo pouco diferiram entre as espécies com exceção dos valores de C, N e MO, que foram maiores na área de *R. mangle*. As três espécies estudadas apresentaram concentrações foliares de nutrientes distintas mostrando absorção seletiva. A eficiência do uso de nutrientes seguiu a ordem crescente *L. racemosa* > *R. mangle* > *A. schaueriana*. Esses resultados mostraram que as espécies estudadas apresentam estratégias diferenciadas quanto ao acúmulo e utilização de nutrientes. Assim, o maior acúmulo de determinado nutriente nas folhas não necessariamente significa menor eficiência no seu uso, particularmente tendo em vista que a planta se utiliza de diferentes estratégias para a manutenção do equilíbrio iônico.

Key words:

Avicennia schaueriana
Laguncularia racemosa
Rhizophora mangle

Chemical composition of soil and leaves and nutrient use efficiency of mangrove species

ABSTRACT

The chemical composition of soil and leaves, and nutrient use efficiency of *Avicennia schaueriana* Stapf & Leachman, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Rhizophora mangle* L. were analysed in the mangrove of Guaratuba, PR. Given the complex interaction between biotic and abiotic factors of mangrove ecosystems the nutrient use efficiency (NUE) was applied. In the study area ten individuals for each species were marked for leaf sampling. Soil samples were also collected at 0-10 cm depth under the crown projection of the selected trees. The analysed soil attributes, did not differ among species except C, N and O.M. which were greater in the area of *R. mangle*. The three studied species presented different leaf nutrient concentrations, showing selective absorption, even sharing the same soil. In general and in ascending order, the nutrient use efficiency obeyed the following sequence: *L. racemosa* > *R. mangle* > *A. schaueriana*. The results suggest that the studied species show distinct strategies related to nutrient storage and usage. The greater amount of a determined nutrient in leaf not necessarily means lower nutrient use efficiency, particularly due to the various strategies utilized by the plants for maintenance of ionic equilibrium.

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 que permitem desenvolver-se em ambientes caracterizados pela alta salinidade, periodicamente inundados pela maré, baixa oxigenação e por solo lodoso (Ball, 1988; Tue et al., 2012).

Por se tratar de um ambiente de grande instabilidade, as plantas de mangue se utilizam dos nutrientes de forma oportunística. O conhecimento a respeito da eficiência no uso dos nutrientes neste ambiente que impõe limitações na sua absorção e utilização é de fundamental importância para o entendimento deste ecossistema.

Apesar da baixa diversidade de espécies arbóreas, os manguezais estão entre os ambientes mais produtivos do mundo (Reef et al., 2010). Esses biomas têm grande valor no controle da erosão costeira, no habitat para o crescimento e refúgio de diversas espécies de animais (Schaeffer-Novelli, 2000) e ciclagem de nutrientes (Reef et al., 2010; Cuzzuol & Rocha, 2012).

No Brasil são encontradas sete espécies de quatro gêneros pertencentes às famílias Rhizophoraceae, Verbenaceae e Combretaceae (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.

As espécies vegetais de mangue apresentam alta plasticidade na utilização das diferentes formas iônicas resultantes dos processos de oxidação, redução e variações de salinidade do solo em decorrência da hidrodinâmica do manguezal (Reef et al., 2010). Assim, a ação das marés interfere na variação da disponibilidade de nutrientes e na distribuição irregular dos mesmos na forma livre e particulada, com maior aporte onde há maior deposição de sedimentos (Ball, 1988).

As espécies de mangue podem apresentar altas taxas de crescimento quando localizadas em solos com características específicas, sem limitações nutricionais (Reef et al., 2010). Neste sentido, *R. mangle* se estabelece em solos que apresentam maiores valores de pH, altos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C), assim como uma relação C/N adequada, em que não há imobilização do N. Posiciona-se, preferencialmente, nas margens dos rios em que o aporte de nutrientes é elevado. Indivíduos de *L. racemosa* ocorrem nos mais diversos tipos de solo, desde arenosos a argilosos, localizados principalmente onde a frequência e a intensidade das marés são menores (Vidal-Torrado et al., 2005). Já *A. schaueriana* se mostra melhor adaptada em ambientes menos sujeitos à influência da maré (Sherman et al., 1998).

As plantas absorvem nutrientes em quantidades diferenciadas (Mengel, 1984), sendo que os teores absorvidos nem sempre se revertem proporcionalmente em produção de biomassa. Em havendo alta disponibilidade de nutrientes facilmente se pode atingir o nível de consumo de luxo. Assim, o emprego do índice de eficiência do uso de nutrientes (EUN) é considerado um recurso importante de avaliação ecológica pois integra um grande número de processos fisiológicos (Hawkesford et al., 2012) e avalia o grau de aproveitamento dos

nutrientes absorvidos pelas plantas na produção de biomassa (Alongi et al., 2005). Dado a esta importância, o EUN tem sido associado ao índice de eficiência do uso da água em manguezais de vez que permite um entendimento melhor dos processos fisiológicos (Sobrado, 2005).

Muitos estudos em manguezais têm destacado a limitação do crescimento das espécies vegetais associada à deficiência de N e P, induzida pelos diferentes graus de salinidade e processos de oxidação e redução (Ball, 1988; Reef et al., 2010). Além desta limitação a alta salinidade é um condicionante de estresse em manguezais em que o desequilíbrio da relação K/Na é mais prejudicial que a própria salinidade imposta pelo NaCl (Ball, 1988).

Embora haja limitações, o sucesso no estabelecimento e na produtividade das espécies vegetais nos manguezais tem sido atribuído a uma estratégia eficiente de ciclagem, conservação e eficiência no uso dos nutrientes (Reef et al., 2010; Flowers et al., 2010). Neste contexto, o objetivo neste estudo foi avaliar a composição nutricional das espécies arbóreas do manguezal de Guaratuba, PR, Brasil, e sua relação com o sedimento no qual elas estão inseridas, bem como sua EUN.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no manguezal 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) com as coordenadas 25° 49' S e 48° 34' W. O clima é classificado como Cfa, subtropical 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, 29,6 °C. Os dados de precipitação e temperatura se referem ao ano de 2010 e foram cedidos pela estação de Paranaguá do Sistema Meteorológico do Paraná. O solo é classificado como Gleissolo tiomórfico sálico sódico.

No manguezal estudado foi estabelecida uma área de 1000 m² paralela ao corpo hídrico, onde dez indivíduos (Cuzzuol



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

& Rocha, 2012) de *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* foram amostrados do estrato dominante. 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 secado em estufa a 60 °C, moído e submetido à digestão nitro-perclórica. As concentrações de P, K, Ca, Mg, Na e S foram determinadas por espectrometria de emissão óptica de plasma de argônio (ICP OES). Para o N a determinação foi feita pelo método Kjeldahl.

Para fins de correlação entre o solo e as plantas amostras de solo de 0-10 cm, nos quatro pontos cardeais, 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 secadas em temperatura ambiente, foram destorroadas e peneiradas obtendo-se a fração terra fina secada ao ar ($\phi < 2$ mm). Foram analisados o pH_{CaCl2}, P, K, Ca, Mg, Na e alumínio (Al) de acordo com o Manual de Métodos de Análise do Solo recomendado pela Embrapa. O carbono (C) e o N foram determinados pelo método de combustão em analisador elementar.

Para testar o caráter tiomórfico amostras do solo foram incubadas por 8 semanas a fim de comparar a evolução do pH inicial e final. 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 do perfil pedológico (pH, Ca, Mg, K, P, N, C, Na, condutividade e CTC). A distância utilizada foi Squared Euclidean e o método de ligação 'Farthest Neighbor'. 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. schaueriana*: 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 0,05 de significância procedeu à ANOVA. As premissas foram checadas mediante o teste de Bartlett a 0,05 (homogeneidade de variâncias) e a gaussianidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, também a 0,05. 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. Visando avaliar a eficiência de utilização de nutrientes pelas espécies, foi aplicado o índice da EUN que leva em consideração a razão entre a massa seca de cem folhas pela quantidade de nutrientes nela contida, como estimativa da produção de biomassa (Swiader et al., 1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH do solo apresentou acidez elevada e assim como a condutividade elétrica não apresentou diferença significativa

entre os solos sob as espécies (Tabela 1). Os altos valores de condutividade elétrica (> 7 dS m⁻¹ a 25 °C), na área do estudo conferiram, ao solo, o caráter sálico. Os elevados teores de Na caracterizam o caráter sódico (definido pela fórmula $100 \text{ Na}^+/\text{T} \geq 15\%$), na classificação do solo (Tabela 1).

O manguezal apresentou altos valores de C e se diferenciou estatisticamente entre os solos de *A. schaueriana* e *L. racemosa* com o solo de *R. mangle* (Tabela 1). Da mesma forma, teores de MO apresentaram o mesmo padrão que C; em relação aos teores de N e C, esses foram maiores para *R. mangle*. Essas variáveis, em termos nutricionais, quando analisadas isoladamente não permitem uma interpretação satisfatória, motivo pelo qual a relação C/N se apresenta mais promissora. Para os solos das espécies estudadas, os valores se situam próximo a 17, o que permite concluir pela liberação no N.

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

Com exceção do Ca, *A. schaueriana* se destacou das demais espécies por apresentar maiores teores de K, P, Mg S e Na. Os elementos N e Ca foram os que se distinguiram significativamente entre as três espécies, com a particularidade de que em *L. racemosa* são encontrados os menores valores de N e os mais altos teores de Ca (Tabela 2). O teor de Mg foliar foi significativamente maior em *A. schaueriana* em relação às demais espécies que não diferiram estatisticamente

Tabela 1. Características químicas do solo das espécies *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*

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

Teste Fisher LSD ($p < 0,05$); Médias com letras minúsculas diferentes, na mesma linha e na mesma área, são estatisticamente significativas

Tabela 2. Valores médios da concentração de macronutrientes nas folhas de *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle* doo manguezal de Guaratuba, PR

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

Teste Fisher LSD ($p < 0,05$); Médias com letras minúsculas diferentes na mesma linha e na mesma área, são estatisticamente significativas

entre si (Tabela 2). O maior índice de EUN foi observado em *L. racemosa* para N, K, P, Mg e Na. *Avicennia shaueriana* e *R. mangle* foram mais eficientes na utilização de Ca e S, respectivamente (Tabela 3).

A existência de correlação elemento a elemento entre os compartimentos solo-planta, ou entre os elementos em qualquer compartimento e a produtividade, representa uma possibilidade para o emprego de funções matemáticas na calibração analítica. Em ambientes naturais esta expectativa nem sempre é satisfatória e valores negativos ou contraditórios são de difícil explicação. Em *A. schaueriana* observou-se a presença de correlação Ca solo e Ca foliar ($r = 0,82, p < 0,05$) e Mg solo e Mg foliar ($r = -0,65, p < 0,05$). Em *L. racemosa* não houve correlação entre elementos no solo e o mesmo na planta. Em *A. schaueriana*, apenas Ca no solo e Ca foliar apresentaram correlação ($r = 0,86, p < 0,05$). Embora tenha sido observada alta correlação entre Na e K no solo para as três espécies (*A. schaueriana*: $r = 0,91$; *L. racemosa*: $r = 0,94$; *R. mangle*: $r = 0,84$) o mesmo não foi observado em nível foliar inclusive não havendo correlação negativa entre Na solo e K planta.

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

Observou-se, nos três agrupamentos das espécies, a expressão de relações clássicas no solo em função da presença das cargas do complexo de troca e dos elementos em solução: Em *A. schaueriana* 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).

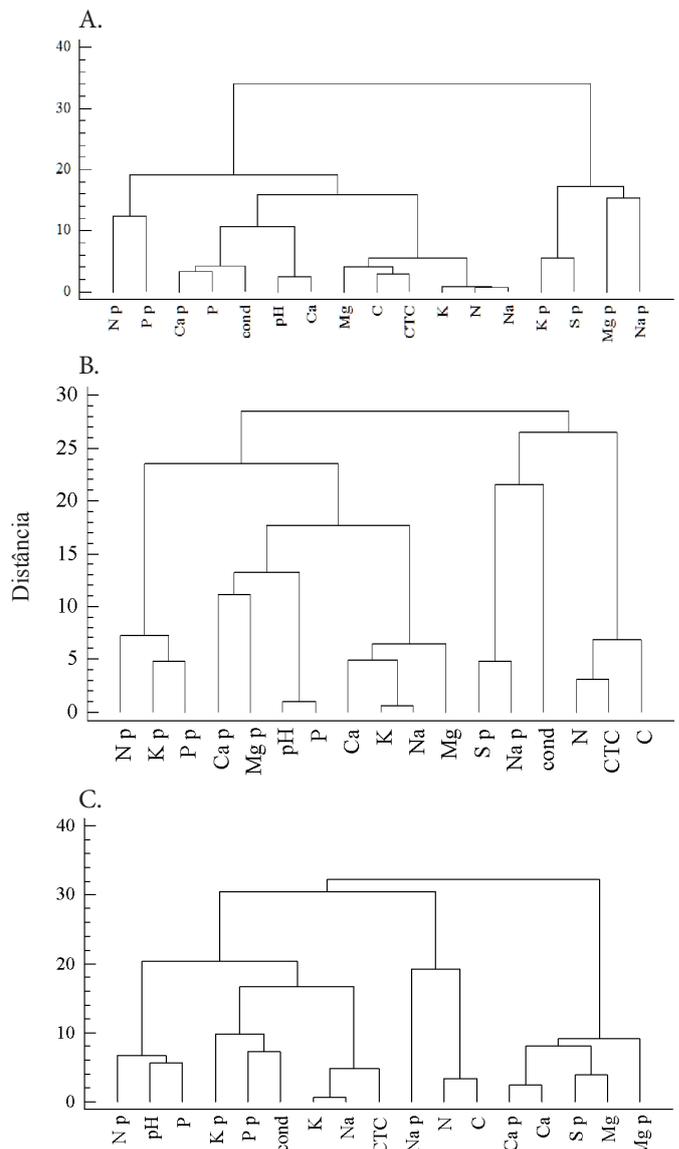
Em relação aos agrupamentos relacionados com os nutrientes foliares, *A. schaueriana* e *L. racemosa* foram as espécies que apresentaram relações bem definidas no compartimento planta. Em *A. schaueriana* essas relações foram formadas por N e P; K, S, Mg e Na (Figura 2A). Em *L. racemosa* houve formação dos grupos com os nutrientes N, P e K; Ca e Mg; S e Na (Figura 2B). *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).

O solo da área de estudo em função do pH determinado em solução $CaCl_2$, após secagem ao ar, é classificado como muito ácido. Este índice se contrapõe, a princípio, com os elevados teores de bases trocáveis. A acidez elevada observada nos solos dos manguezais é oriunda da oxidação do S por ocasião da secagem do solo (Vidal-Torrado et al., 2005). Há outras considerações a respeito do baixo pH, sendo atribuída

Tabela 3. Índice da eficiência de uso dos nutrientes calculado para as folhas de *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*

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

Teste Fisher LSD ($p < 0,05$); Valores com letra diferente na mesma coluna são estatisticamente significativas



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

Figura 2. Dendrograma formado em função das características pedológicas e químicas foliares de *A. schaueriana* (A), de *L. racemosa* (B) e de *R. mangle* (C)

a oxidação de sulfetos em superfície (Bernini & Rezende, 2010) ou 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 à 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, B e C). Isto indica a grande variação que existe dentro do manguezal estudado (Reef et al., 2010) como pode ser verificado pela CTC cuja associação esperada seria a uniformidade de agrupamentos com os cátions trocáveis porém em *R. mangle* a CTC agrupou-se com K e Na, em *A. schaueriana* com C e Mg e em *L. racemosa* com C e N.

Como as concentrações foliares das espécies foram distintas, o índice de EUN se diferenciou entre as três espécies (Tabela 3). A ordem de concentração de N foliar encontrada nas

três espécies segue o padrão de outros manguezais brasileiros cujas espécies do gênero *Avicennia* também apresentam maiores teores de N e as demais espécies com teores menores (Cuzzuol & Campos, 2001; Bernini et al., 2006). No presente estudo se destacaram os baixos 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), sua absorção não parece ser comprometida pelo suprimento do solo, salvo pela competição iônica e interespecífica visto que as três espécies utilizam o mesmo solo caracterizado pelo elevado teor de matéria orgânica (SBCS, 2004), avançado estado de decomposição (sáprico) e baixa relação C/N (Tabela 1).

É provável que 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 a utilização do N tem a participação essencial do P. Ainda em *L. racemosa* observou-se o agrupamento do N e K foliar, que evidencia a associação imprescindível deste elemento na síntese proteica (Hawkesford et al., 2012).

Tal como o N, também o S é fundamental para a constituição proteica (Abdallah et al., 2010). Apesar de se observar um padrão de concentração similar ao N em termos de médias, não se observa correlação positiva e significativa entre os dois elementos. O agrupamento do S e K foliar em *A. shaueriana* (Figura 2A) pode ser explicado pela participação do S na constituição proteica celular (Epstein & Bloom, 2006). Em *R. mangle* (Figura 2C) o agrupamento do S foliar com Mg do solo se deve à 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). Observa-se, ainda assim, diferença na concentração do K entre as três espécies, o que indica mecanismos distintos de sua absorção influenciando a aquisição do K pelas raízes (Meurer, 2006). A relação entre Na solo com o K solo é altamente significativa e positiva, pois ambos fazem parte do complexo de saturação por bases para as três espécies estudadas (Tabela 1; Figuras 2A, 2B e 2C). Aparentemente, esta relação não representa 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, significando maior capacidade de absorção do K em presença de altos teores de Na.

Os menores teores de Ca para *A. shaueriana* na área estudada, 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. No presente 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). Tendo em vista que a absorção passiva do Ca se deve principalmente ao meio apoplástico, via extremidade de raízes não suberificadas (Epstein & Bloom, 2006), os altos teores em *L. racemosa* e *R. mangle* se deveriam pela renovação de raízes mais intensa.

As plantas de manguezais estão sujeitas a duas grandes situações de estresse: à salinidade e às oscilações nos processos de redução e oxidação (Vidal-Torrado et al., 2005). Desta forma, o Ca atua como mensageiro secundário nos ajustes dos processos celulares a esses estímulos externos. Sua elevada concentração nos tecidos, quando for o caso, é muito mais dependente do alto teor no solo 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, o que reflete boa calibração analítica (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 ficou abaixo de 15, podendo estar associada ao alto teor de P-Mehlich no solo (SBCS, 2004) indicando que, aparentemente, o teor de P no solo não é fator limitante ao crescimento vegetal.

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 et al., 2012). Nem sempre é possível comparar os índices relativos da EUN com outros estudos em termos equivalentes uma vez que as metodologias podem ser distintas.

A. shaueriana teve menor eficiência de aproveitamento dos nutrientes, com exceção do Ca (Tabela 3). Embora hajam, 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 deste elemento nas folhas. Pode-se, então, 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 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 se destaca a alta eficiência do P na produção de biomassa (Tabela 3), devendo-se ao fato do seu baixo teor encontrado no solo (Winckler et al., 2006), bem como dos menores teores nos tecidos entre os macronutrientes estudados. Em *A. shaueriana*, espécie com alto teor de N e conseqüentemente baixa EUN, esses valores podem significar uma estratégia de maior acúmulo para maior produção de glicina betaína, composto quaternário de amônio para tolerância aos sais (Popp, 1984).

Esses resultados sugerem que as espécies estudadas apresentam estratégias diferenciadas quanto ao acúmulo e

utilização dos nutrientes. Nem sempre o maior acúmulo de determinado nutriente nas folhas significa menor eficiência no seu uso, particularmente em função das várias estratégias utilizadas pelas plantas para a manutenção do equilíbrio iônico.

CONCLUSÕES

1. A análise dos dendrogramas apresentou agrupamentos distintos para as três espécies.
2. As espécies vegetais possuem estratégias distintas para aquisição dos nutrientes.
3. *L. racemosa* apresentou menores teores de nutrientes foliares, com exceção do Ca.
4. Em ordem crescente do índice de EUN, tem-se *L. racemosa* > *R. mangle* > *A. shaueriana*.

AGRADECIMENTOS

À Petrobras e à 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.; Avicé, 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, p.2635-2646, 2010. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erq096>
- Alongi, D. M.; Clough, B. F.; Robertson, A. I. Nutrient-use efficiency in arid-zone forests of the mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina*. *Aquatic Botany* v.82, p.121-131, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.04.005>
- Ball, M. C. Ecophysiology of mangroves. Review article. *Trees*, v.2, p.129-142, 1988. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00196018>
- 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.; Silva, M. A. B.; Carmo, T. M. S. do; 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.
- 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.227-234, 2001.
- Cuzzuol, G. R. F.; Rocha, A. C. Interação do regime hídrico com as relações nutricionais em ecossistema manguezal. *Acta Botanica Brasílica*, v.26, p.11-19, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062012000100003>
- Epstein, E.; Bloom, A. J. Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas. Londrina: Planta, 2006. 403p.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1071/FP09269>
- Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Skrumsager, I. Functions of macronutrients. In: Marschner, Petra, London: Academic Press. 2012. p.135-189.
- Malavolta, E. Potássio, Mg e S nos solos e culturas brasileiras. *Boletim Técnico n.04*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1979. 92p.
- Mengel, K. Ernährung und stoffwechsel der pflanze. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 1984. 431p.
- Meurer, E. J. Potássio. In: Nutrição mineral de plantas. (ed.) Fernandes, M. S. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.281-298
- Mitsch, W. J.; Gosselink, J. G. Wetlands, New York: John Wiley & Sons, 2000. 296p.
- Popp, M. Chemical composition of Australian mangroves II. Low molecular weight carbohydrates. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, v.113, p.411-421, 1984. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-328X\(84\)80097-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-328X(84)80097-5)
- 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. <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.111.084988>
- Reef, R.; Feller, I. C.; Lovelock, C. E. Nutrition of mangroves. *Tree Physiology*, v.30, p.1148-1160, 2010. <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpq048>
- SBCS - 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.
- Schaeffer-Novelli, Y. Grupo de ecossistemas: Manguezal, marisma e apicum. São Paulo: Caribbean Ecological Research. 2000. 119p.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Adaime, R. R. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, v.13, p.204-218, 1990. <http://dx.doi.org/10.2307/1351590>
- Sherman, R. E.; Fahey, T. J.; Howarth, R. W. Soil-plant interactions in a neotropical mangrove forest; iron, phosphorus and sulfur dynamics. *Oecologia*, v.115, p.553-563, 1998. <http://dx.doi.org/10.1007/s004420050553>
- 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, Série Botânica*, v.65, p.123-132, 2010.
- Sobrado, M. A. Leaf characteristics and gas exchange of the mangrove *Laguncularia racemosa* as affected by salinity. *Photosynthetica*, v.43, p.217-221, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-005-0036-8>
- Swiader, J. M.; Chyan, Y.; Freiji, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, v.17, p.1687-1699, 1994. <http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364840>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s12237-012-9487-x>
- Vidal-Torrado, P.; Otero, X. L.; Ferreira, T.; Souza Júnior, V.; Bicego, M.; García-González, M. T.; Macías, F. Solos de mangue: Características, gênese e impactos Antrópicos. *Edafología*, v.12, 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, p.321-332, 2006. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2006v27n3p321>
- Yang, H. Q.; Jie, Y. L. Uptake and transport of calcium in plants. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, v.31, p.227-234, 2005.