

**CONCENTRAÇÃO E APORTE DE ELEMENTOS DA SERAPILHEIRA DO  
MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA DO SUL, ESTADO DO RIO DE  
JANEIRO, BRASIL**

**LÍGIA MACABU RIBAS**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE –UENF**

**Campos dos Goytacazes – RJ**

**Dezembro- 2007**

**CONCENTRAÇÃO E APORTE DE ELEMENTOS DA SERAPILHEIRA DO  
MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA DO SUL, ESTADO DO RIO DE  
JANEIRO, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo de Rezende

Campos dos Goytacazes- RJ

Dezembro/2007

**CONCENTRAÇÃO E APORTE DE ELEMENTOS DA SERAPILHEIRA DO  
MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA DO SUL, ESTADO DO RIO DE  
JANEIRO, BRASIL**

**Lígia Macabu Ribas**

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em: 17 de dezembro de 2007

Comissão Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Dora Maria Villela (Dra. em Ecologia) - UENF

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Marina Satika Suzuki (Dra. em Biociências e Biotecnologia) – UENF

---

Prof. Dr. Carlos Augusto Ramos e Silva (Dr. em Ecologia) UFRN

---

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo de Rezende (Dr. em Ciências) - UENF

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Saul Ribas e Agilda Ribas e às minhas irmãs Eleonora e Laura, pelo amor, carinho, confiança e incentivo, que foram indispensáveis nesta fase da minha vida.

Ao professor Carlos Eduardo Rezende pela orientação, pela amizade, dedicação e contribuição para a minha formação acadêmica. Obrigada pela confiança e compreensão depositada em meu trabalho.

À Elaine Bernini, uma pessoa na qual nunca cansarei de agradecer pela imensa ajuda, amizade, dedicação, estímulo e atenção durante todo o projeto do mestrado.

Ao Laboratório de Ciências Ambientais da UENF pela viabilização de todas as coletas e análises. Aos profissionais deste setor, em especial aos técnicos, Marcelo Almeida, Cristiano, Ana Paula e Alcemir, pela paciência, amizade, que sem dúvida foram essenciais durante minha trajetória acadêmica.

Aos técnicos de campo Antônio Carlos, Ivanilton, Wanderley pela ajuda durante a coleta das amostras.

À Arizoli Gobo, pela grande ajuda na parte analítica do trabalho.

Ao Laboratório de Ecologia Isotópica do Cena-USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura- Universidade de São Paulo) pela determinação da composição isotópica das amostras deste projeto.

Aos professores do Laboratório de Ciências Ambientais – UENF pelas constantes e construtivas ajudas e discussões durante a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido.

À todos alunos de graduação e pós-graduação, funcionários e professores do LCA, pelo bom e agradável ambiente de trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	V
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 O ecossistema de manguezal.....	1
1.2 Os nutrientes no ecossistema de manguezal.....	3
2. OBJETIVO GERAL.....	8
2.1 Objetivos Específicos.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Área de Estudo.....	9
3.2 Coleta de Serapilheira.....	11
3.3 Métodos Analíticos.....	14
3.3.1 Determinação de Macro e Microelementos do Material Vegetal.....	14
3.3.2 Composição Elementar e Isotópica do C e do N.....	15
3.3.3 Aporte de Nutrientes.....	15
3.4 Análise dos Dados.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1 Concentração e Aporte de Macronutrientes.....	17
4.1.1 Cálcio.....	21
4.1.2 Potássio.....	23
4.1.3 Magnésio.....	26
4.1.4 Sódio.....	28
4.1.5 Carbono.....	30
4.1.6 Nitrogênio.....	32

4.1.7 Fósforo.....	34
4.1.8. Razões C/N, N/P e C/P.....	37
4.2 Concentração e Aporte de Micronutrientes.....	42
4.2.1 Cobre.....	44
4.2.2 Manganês.....	46
4.2.3 Zinco.....	49
4.2.4 Alumínio.....	51
4.2.5 Ferro.....	53
4.3 Composição Isotópica do C e do N.....	56
5. CONCLUSÃO.....	60
6.REFERÊNCIAS.....	61
7. APÊNDICE.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela I. Parâmetros estruturais da vegetação e salinidade da água intersticial dos sítios analisados no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, RJ (DAP: diâmetro à altura do peito; média±desvio padrão).....	12
Tabela II. Média e desvio padrão da produção de serapilheira total e frações ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, no período de janeiro a dezembro de 2005.....	13
Tabela III. Valores teste de metodologia do padrão certificado (“ <i>Apple Leaves</i> ”).....	14
Tabela IV. Precisão analítica das triplicatas realizadas na determinação dos macroelementos da fração folhas de serapilheira. (n=10 para Ca, K, Mg, Na, P e n=20 para C, N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ ). CV = coeficiente de variação (%).....	15
Tabela V. Precisão analítica das triplicatas realizadas na determinação dos microelementos da fração folhas de serapilheira. (n=10).CV = coeficiente de variação (%).....	15
Tabela VI: Concentração de nutrientes ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) da fração folhas adultas e serapilheira de diferentes manguezais.....	40
Tabela VII: Concentração de P, C e N ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) da fração folhas adultas e e serapilheira de diferentes manguezais.....	41
Tabela VIII: Concentração de micronutrientes ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) da fração folhas adultas e serapilheira de diferentes manguezais.....	55

Tabela IX: Valores médios anuais da composição isotópica do C e N (‰) da fração folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. (Valores em negrito indicam a média e valores abaixo indicam o desvio padrão). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as espécies ( $p \leq 0,05$ , ANOVA one-way).....57

Tabela X: Tabela X: Valores médios da composição isotópica do C e N (‰) da fração folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul encontrados por Oliveira (2005).....58

Tabela XI: Composição isotópica do carbono e nitrogênio em folhas de diferentes manguezais.....59

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1:** Localização dos sítios de estudo no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. (Sítio 1: Bosque monoespecífico de *Laguncularia racemosa*; Sítio 2: Bosque monoespecífico de *Avicennia germinans* e Sítio 3: Bosque monoespecífico de *Rizhophora mangle*).....10

**Figura 2:** Temperaturas médias mensais e precipitação total mensal dos meses de coleta da serapilheira no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (Fonte: Pesagro.....11

**Figura 3:** Coletores de serrapilheira no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, RJ.....12

**Figura 4:** Produção de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).....18

**Figura 5:** Concentração média anual para os macronutrientes determinados nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA *one-way*) entre as espécies estudadas.....19

**Figura 6:** Concentração média anual para os macronutrientes P, C e N determinados nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA *one-way*) entre as espécies estudadas.....19

<b>Figura 7:</b> Razões C/N, N/P e C/P das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA <i>one-way</i> ) entre as espécies estudadas.....	20
<b>Figura 8:</b> Aporte anual (%) de macronutrientes das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	20
<b>Figura 9:</b> Variação mensal da concentração do elemento Ca nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	22
<b>Figura 10:</b> Variação mensal do aporte de Ca das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	23
<b>Figura 11:</b> Variação mensal da concentração do elemento K nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	25
<b>Figura 12:</b> Variação mensal do aporte de K das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	25
<b>Figura 13:</b> Variação mensal da concentração do elemento Mg nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	27
<b>Figura 14:</b> Variação mensal do aporte de Mg das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	27
<b>Figura 15:</b> Variação mensal da concentração do elemento Na nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	29
<b>Figura 16:</b> Variação mensal do aporte de Na das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	29

<b>Figura 17:</b> Variação mensal do teor de C nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	31
<b>Figura 18:</b> Variação mensal do aporte de C das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	31
<b>Figura 19:</b> Variação mensal da concentração do elemento N nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	33
<b>Figura 20:</b> Variação mensal do aporte de N das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	34
<b>Figura 21:</b> Variação mensal da concentração do elemento P nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	36
<b>Figura 22:</b> Variação mensal do aporte de P das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	36
<b>Figura 23:</b> Variação mensal da razão C/N nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	38
<b>Figura 24:</b> Variação mensal da razão N/P nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	38
<b>Figura 25:</b> Variação mensal da razão C/P nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	39
<b>Figura 26:</b> Concentração média anual para os microelementos determinados nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA <i>two-way</i> ) entre as espécies estudadas.....	42

<b>Figura 27:</b> Concentração média anual para o elemento Fe determinado nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA <i>two-way</i> ) entre as espécies estudadas.....	43
<b>Figura 28:</b> Aporte anual de micronutrientes das folhas de serapilheira do manguezal o estuário do rio Paraíba do Sul.....	43
<b>Figura 29:</b> Variação mensal da concentração do elemento Cu nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	45
<b>Figura 30:</b> Variação mensal do aporte de Cu das folhas serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	46
<b>Figura 31:</b> Variação mensal da concentração do elemento Mn nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	48
<b>Figura 32:</b> Variação mensal do aporte de Mn das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	48
<b>Figura 33:</b> Variação mensal da concentração do elemento Zn nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	50
<b>Figura 34:</b> Variação mensal do aporte de Zn das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	50
<b>Figura 35:</b> Variação mensal da concentração do elemento Al nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	52

<b>Figura 36:</b> Variação mensal do aporte de Al das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	52
<b>Figura 37:</b> Variação mensal da concentração do elemento Fe nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	54
<b>Figura 38:</b> Variação mensal do aporte de Fe das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	55
<b>Figura 39:</b> Variação mensal da composição isotópica do N nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	58
<b>Figura 40:</b> Variação mensal da composição isotópica do C nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.....	59

## RESUMO

No ecossistema de manguezal, a serapilheira é uma das principais fontes de nutrientes para as costas tropicais e sub-tropicais, sendo disponibilizada aos consumidores por meio da cadeia de detritos, principalmente, contribuindo para a fertilidade das águas estuarinas e costeiras. Neste estudo, a serrapilheira foi coletada através das cestas coletoras de 0,7 x 0,7 m (0,49 m<sup>2</sup>), forradas com tela de nylon de 1 mm. Os bosques monodominantes das espécies típicas de mangue foram identificados (*L. racemosa*, *A. germinans* e *R. mangle*) para alocação das cestas coletoras no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Em cada bosque foram instaladas 7 cestas coletores à 5 m de distância da margem do canal, totalizando 21 coletores de serapilheira. A serapilheira foi coletada quinzenalmente, por um período de um ano (janeiro a dezembro de 2005), totalizando 24 coletas. A determinação de macro e micronutrientes foi realizada no equipamento ICP-AES e a determinação da composição isotópica do C e N foram feitas em espectrômetro de massa ThermoQuest Finnigan Delta Plus acoplado a CHN Ceinstruments 1110. A concentração média anual dos macronutrientes na fração folhas de serapilheira seguiu a seguinte ordem para *Laguncularia racemosa*: C<Ca<N<K<Mg<Na<P; para *Avicennia germinans*: C<N<K=Na<Mg<Ca<P e para *Rhizophora mangle*: C<Ca<Na<N<Mg<K<P. O aporte de macronutrientes da serapilheira para o sedimento seguiu a seguinte ordem para *L. racemosa*: C<Ca<N<K<Mg<Na<P; para *A. germinans* C<N<K<Na<Mg<Ca<P e para *R. mangle*: C<Ca<Na<N<Mg<K<P. *R. mangle* apresentou maior aporte de macroelementos, porém sua taxa de decomposição verificada por Matos (2007) foi mais lenta comparada às demais espécies. *A. germinans* apresentou menor contribuição de macroelementos para o estuário, no entanto, esta espécie mostrou maior velocidade de decomposição. Dessa forma conclui-se que *A. germinans* tem contribuído mais na ciclagem dos macroelementos para o sedimento, comparada às demais espécies. Neste estudo, para os microelementos, com exceção do elemento Fe, a espécie *A. germinans* apresentou maiores concentrações quando comparadas às demais espécies. Devido à sua maior velocidade de

decomposição, é possível sugerir que esta espécie tem grande contribuição para a ciclagem de microelementos no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Para o elemento ferro, *L. racemosa* apresentou maior concentração e aporte. Isto sugere um mecanismo de translocação ou de eliminação deste elemento via queda de folhas.

## ABSTRACT

In the manguezal ecosystem, the litterfall is one of the main sources of nutrients for the tropical and subtropical coasts, being available to the consumers by the chain of debris, mainly, contributing for the fertility of estuarines and coastal waters. In this study, the litterfall was collected through the collecting baskets of 0,7 x 0,7 m (0,49 m<sup>2</sup>) lined with nylon screen of 1 mm. The monodominant forests of the typical species of mangrove had been identified (*L. racemosa*, *A. germinans* and *R. mangle*) for allocation of the collecting baskets in the manguezal of the estuary of the Paraíba do Sul river. In each forest 7 collecting baskets had been installed to 5 m of distance of the edge of the canal, totalizing 21 litterfall collectors. The litterfall was collected biweekly, for a period of one year (January the December of 2005), totalizing 24 collections. The determination of macro and micronutrients was carried through in equipment ICP-AES and the determination of the isotopic composition of C and N had been made in mass spectrometer Finnigran Delta Plus connected to CHN Ceinstruments 1110. The annual average concentration of the macronutrients in the leaves litter followed the order for *L. racemosa*: C<Ca<N<K<Mg<Na<P; to *A. germinans*: C<N<K=Na<Mg<Ca<P and to *Rhizophora mangle*: C<Ca<Na<N<Mg<K<P. The macronutrient input through litterfall followed the order for *L. racemosa*: C<Ca<N<K<Mg<Na<P; to *A. germinans* C<N<K<Na<Mg<Ca<P and to *R. mangle*: C<Ca<Na<N<Mg<K<P.

*R. mangle* had higher input of macro, but their rate of decay verified by Matos (2007) was slower compared to other species. *A. germinans* had lower contribution from macro to the estuary, however, showed more speed this decomposition. Thus it appears that *A. germinans* has contributed more cycling in the macro to the

sediment, compared to other species. In this study, for the microelements, except the element Fe, the species *A. germinans* showed higher concentrations when compared to other species. Because of their higher speed of decomposition, it is possible to suggest that this species has great contribution to the cycling of microelements in the mangrove estuary of the River Paraiba do Sul. For the element iron, *L. racemosa* showed higher concentration and intake. This suggests a mechanism of translocation or disposal of this element by fall of leaves.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. O ecossistema de manguezal

O manguezal é um ecossistema costeiro que ocorre em regiões tropicais e subtropicais, ocupando a área entremarés. É caracterizado por uma vegetação lenhosa que compartilha características fisiológicas e adaptações especiais às quais permitem a sobrevivência das árvores sob condições de alta salinidade, sedimento anaeróbico, inundação pelas marés e substrato inconsolidado (Odum *et al.*, 1982).

Os manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo (Ochieng & Erftemeijer, 2002), os quais apresentam elevada importância (1) no controle da erosão costeira, (2) na criação de diversos micro-habitats como berçário para crescimento de várias espécies de peixes (Hegazy, 1998; Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000), (3) no fornecimento de refúgio para muitas espécies de aves, (4) na contribuição para a cadeia alimentar através da queda de serapilheira e da decomposição, mantendo os ecossistemas costeiros em um estado dinâmico devido à intensa atividade biológica e (5) na reserva de nutrientes e energia a longo prazo (Hegazy, 1998; Lizárraga *et al.*, 2004).

O clima, a salinidade, as flutuações de maré e o tipo de substrato são os principais fatores que influenciam na distribuição dos manguezais, determinando seu grau de desenvolvimento (Odum *et al.*, 1982). Apesar de esses fatores determinarem a ocorrência dos manguezais ao longo das regiões costeiras, as características dos mesmos em termos estruturais e funcionais podem ser variáveis. O modelo de "assinatura energética" (Lugo & Snedaker, 1974) pode ser aplicado nesse ecossistema, através do qual o manguezal possui seus processos e desenvolvimento estrutural controlados por forças subsidiárias como energia solar, aporte de água doce e de nutrientes e energia das marés. Portanto, apesar de existirem fatores, que regem sua ocorrência em escala global, os atributos estruturais e funcionais de cada manguezal são regidos pela interação de fatores em escala regional e local (ex. associados à frequência de inundação pelas marés) (Odum *et al.*, 1982).

A vegetação do mangue é constituída por espécies halófitas, ou seja, adaptadas ao meio de salinidade elevada. De acordo com Odum *et al.* (1982), a salinidade é um fator importante na redução da competição com outras espécies de plantas vasculares.

Da mesma forma, os sedimentos anaeróbicos não constituem problema para essa vegetação, mas também excluem a competição com outras espécies.

Devido às condições de seu ambiente, as plantas de mangue apresentam mecanismos de exclusão de sais através de glândulas especializadas nas folhas e da transferência de sal para folhas senescentes ou galhos. Especializações morfológicas incluem raízes laterais (para sustentação no substrato inconsolidado), raízes aéreas (trocas gasosas no sedimento anaeróbico), viviparidade e mecanismos de dispersão através de propágulos (Walsh, 1974, Odum *et al.*, 1982; Tomlinson, 1986).

Segundo Lacerda & Diop (1993), 15 milhões de hectares são cobertos pelo ecossistema de manguezal no mundo. Apesar de sua importância ecológica, social, e econômica, o manguezal vem sofrendo uma diminuição global de sua área nas últimas décadas devido à influência antrópica.

Os manguezais brasileiros formam uma unidade faunística e florística de grande relevância e distribuem-se ao longo de 6.800 km de costa (Lacerda *et al.*, 1999), desde o Amapá, margeando estuários, lagunas e enseadas, até Santa Catarina (Schaeffer-Novelli, 1995). No Estado do Rio de Janeiro, as principais áreas de manguezais são a foz do rio Paraíba do Sul e as baías da Guanabara, Sepetiba e Angra dos Reis (Menezes *et al.*, 2000). Os manguezais do norte do estado localizam-se em reentrâncias do litoral marinho, raras na região. Os mais expressivos desenvolvem-se na foz dos três principais rios do litoral norte: Itabapoana, Paraíba do Sul e Macaé. Ao longo do estado, onde o manguezal ocupa uma área de 16.000 km<sup>2</sup> (Lacerda & Kjerfve, 1993), ocorrem as espécies típicas *Avicennia germinans* (mangue preto), *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Rhizophora mangle* (mangue vermelho) além das associadas *Acrostichum aureum*, *Conocarpus erectus* e *Hibiscus pernambucensis*.

## 1.2. Os nutrientes no ecossistema de manguezal

Um aspecto fundamental para o conhecimento da estrutura e dinâmica dos ecossistemas reside na compreensão de seus teores de nutrientes. Estudos sobre nutrientes abordam vários aspectos entre os quais incluem quantidade, distribuição desses nutrientes, seus processos e taxas de ciclagem, de entrada (*input*) e de saída (*output*) (Hay & Lacerda, 1984). A ciclagem de nutrientes minerais compreende a trajetória cíclica dos elementos essenciais à vida dentro dos ecossistemas. Apesar de a ciclagem ser processo comum a todos os ecossistemas, as quantidades de elementos estocados nos diferentes compartimentos e os fluxos que ocorrem entre esses compartimentos são peculiares. O padrão de ciclagem resultante é, portanto, característico em cada unidade funcional e reflete o somatório das respostas adaptativas da comunidade frente aos tensores ambientais presentes em cada região (Delitti, 1995).

Lugo e Snedaker (1974), apresentam os manguezais como um ecossistema aberto no que diz respeito aos fluxos de energia e matéria. O transporte de matéria para dentro do ecossistema (*input*), sua reciclagem e conseqüente exportação do ecossistema (*output*) são controlados por fatores físicos (marés, chuvas) e biológicos (queda das folhas, decomposição). No manguezal, a disponibilidade adequada de nutrientes está intimamente relacionada ao suprimento de água e às propriedades físicas e químicas do sedimento. De modo geral, as principais vias de entrada de nutrientes para o ecossistema são a maré cheia, que traz os nutrientes em solução na água do mar; a cheia de rios e demais cursos d'água da rede de drenagem, que depositam no interior do mangue partículas finas às quais nutrientes se encontram adsorvidos e, finalmente, as chuvas e a deposição marinha, que transportam e depositam no meio nutrientes vindos da atmosfera. A principal via de exportação do material vegetal produzido internamente pelos manguezais é a variação de marés (Lacerda, 1984). No entanto, os manguezais localizados em regiões estuarinas também estão sujeitos às flutuações da vazão fluvial.

Proctor (1987), discute sobre o papel da serapilheira como um ótimo indicador de produção de ecossistemas florestais. No ecossistema de manguezal, a serapilheira é

uma das principais fontes de nutrientes e detritos orgânicos para as costas tropicais e sub-tropicais, sendo disponibilizada aos consumidores por meio da cadeia de detritos, principalmente, contribuindo para a fertilidade das águas estuarinas e costeiras. Este fato torna o manguezal um dos principais responsáveis pela manutenção da produtividade pesqueira nas áreas tropicais (Pool *et al.*, 1975).

A quantidade de elementos químicos estocados na serapilheira produzida, acumulada e/ou exportada nos ecossistemas depende da quantidade e qualidade assim como pelo balanço entre os vários processos, principalmente, biológicos e físicos. Portanto, a serapilheira além de ser um considerável reservatório de elementos também controla a dinâmica de reciclagem dos mesmos (Delitti, 1995). A quantidade de energia e matéria orgânica exportada do ecossistema de manguezal para o estuário depende da taxa de decomposição da serapilheira. O processo de decomposição no manguezal depende do grau e da frequência de inundação pela maré, clima e a presença ou ausência da fauna decompositora dentro das florestas e da qualidade da serapilheira (Tam *et al.*, 1998).

A vegetação dos manguezais são eficientes na conservação e reciclagem de nutrientes através de mecanismos que reduzem a exportação, incluindo a retranslocação de N e P antes da abscisão da folha (Alongi *et al.*, 1992). A retranslocação consiste na mobilização de nutrientes das folhas maduras e redistribuição para as zonas de crescimento das folhas mais novas, da raiz, do desenvolvimento de frutos, ou mesmo para restabelecer o estoque interno da plantas é uma adaptação importante que visa diminuir a dependência da planta aos aportes externos de nutrientes, principalmente quando se encontram em ambientes de baixa disponibilidade nutricional (Wang *et al.*, 2003).

A absorção de minerais coordena o crescimento em termos de acúmulo de biomassa do vegetal, e a assimilação do carbono torna disponível o material no qual os minerais serão incorporados. A eficiência de absorção de nutrientes pela raiz e a preferência por um determinado nutriente são características determinadas geneticamente (Larcher, 2000). Assim, as espécies diferem amplamente em sua concentração absoluta e nas proporções relativas dos diferentes íons (Fitter & Hay, 1987).

As plantas de mangue, como todas outras halófitas, são afetadas pela alta salinidade e utilizam estratégias, que podem funcionar como sal excludente e sal includente, com posterior diluição intracelular de sal e compartimentação, além de excreção (Lüttge, 1997). A alta concentração de sal causa danos à membrana da célula, levando ao aumento da permeabilidade e subsequente perda de nutrientes para o sedimento circundante, ou resulta em redução de absorção de água (Alongi, 1997). No entanto, os mecanismos de exclusão de sais são seletivos, apresenta capacidade suficientemente discriminatória para absorver íons da água intersticial em concentrações apropriadas, mas podendo causar diferenças nas concentrações de nutrientes nas folhas (Tomlinson, 1986).

O desenvolvimento da vegetação de mangue exige balanço equilibrado entre os minerais do substrato e da vegetação. O excesso de sal no sedimento torna-o um meio não balanceado de nutrientes, o que pode levar à uma deficiência de íons nas plantas. De acordo com Lovelock *et al.* (2006), à medida que a salinidade aumenta no sedimento o gasto de energia é maior, pois aumenta o custo da obtenção de água para manter o balanço interno de sais, o turgor celular, a transpiração e a abertura de estômatos para as trocas gasosas.

Cátions como K, Mg e Ca são conhecidos pelo seu importante papel na ecofisiologia das plantas. Em ecossistemas de manguezais, a concentração desses cátions tem se mostrado importante na estrutura da vegetação. Os processos de assimilação de íons nas plantas halófitas podem ser passivos ou ativos. Nas plantas de mangue, a entrada de Na não acarreta nenhum gasto de energia e este elemento estimula a produção de ATP (trifosfato de adenosina). O Ca é um dos elementos que torna possível a sobrevivência da planta no ambiente porque estimula a absorção de K e inibe a absorção de Na. Lacerda *et al.* (1986 a), estudando a composição metálica de folhas de espécies de mangue do sudeste do Brasil, observaram que a assimilação de Ca foi afetada pelo efeito antagônico do Na. Estes autores destacaram também que as concentrações de Ca na folha das espécies de mangue mostraram ser controladas pelos níveis de Na no sedimento.

Segundo Lacerda *et al.* (1986 a), elementos como Ca, K, Mg e Na são absorvidos pelas raízes das plantas na forma iônica e chegam às florestas de mangue principalmente pela maré. Os elementos Mn, Fe e Cu entram no ecossistema de

manguezal a partir de fontes terrestres, dependentes das características climáticas e geológicas da bacia de drenagem.

Os elementos N, Mg, Ca e K são essenciais para uma variedade de processos biológicos e químicos, considerando tanto o organismo (ex. crescimento somático, reprodução) quanto o ecossistema. Estudos têm indicado que os manguezais são limitantes de nutrientes (principalmente N e P) e há inferências de que a transferência destes se dá através da queda de folhas senescentes. Potássio, um elemento muito móvel, entra no manguezal por vias naturais como erosão dos solos e água do mar (Li, 1997; Alongi *et. al.*, 1992).

A vegetação de mangue pode ser considerada como um “reator químico” não somente devido aos seus processos fisiológicos e bioquímicos, mas também por seu papel ativo em reações no sedimento que influenciam a mobilidade dos metais pesados (Ramos e Silva *et al.*, 2006). A matéria orgânica proveniente da serapilheira contribui para a depleção de oxigênio dissolvido no sedimento, com uma conseqüente influência na mobilidade dos metais pesados. Os metais podem ser transportados para o estuário quando acumulados pelos manguezais e concentrados na serapilheira exportada, que é uma importante fonte alimentar para consumidores na cadeia alimentar estuarina e costeira. Os manguezais apresentam capacidade de acumular metais e possuem certa tolerância a níveis relativamente altos de metais pesados. Esta tolerância parece ser resultado do comportamento dos metais no sedimento, os quais estão na forma não-disponível, juntamente com mecanismos biológicos incluindo exclusão e processos de seqüestro de metais nos tecidos da raiz (MacFarlane & Burchett, 1999). Embora o maior estoque de metais pesados esteja no sedimento, a serapilheira também se destaca por sua importância na ciclagem dos metais, pois são transferidos para o sedimento, incorporados à matéria orgânica e, eventualmente, disponibilizados por processos de decomposição (Silva *et al.*, 1998).

Para a quantificação da inter-relação entre a exportação de matéria orgânica dos mangues e a produção das áreas costeiras tropicais é necessário não só a quantificação de seus fluxos como também a determinação da origem do material exportado. Este material pode apresentar componentes do mangue propriamente dito, assim como de fontes terrestres e/ou marinhas. Lacerda *et al.* (1986 b) têm proposto o uso de isótopos estáveis, particularmente de carbono e nitrogênio, como traçadores

consistentes das fontes de matéria orgânica presentes em ecossistemas costeiros. Devido ao alto custo e sofisticação de tal metodologia, poucos estudos têm sido realizados em áreas tropicais, o que torna prioritária a caracterização isotópica do carbono nestes ambientes a fim de permitir sua utilização em investigações envolvendo as fontes de matéria orgânica para cadeias alimentares costeiras (Lacerda *et al.*, 1986 b).

Nos manguezais, a composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) de folhas tem refletido a salinidade na água presente no sedimento. O aumento da salinidade no sedimento causa redução da taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , assim como a diminuição da difusão estomatal, resultando em uma menor razão entre a concentração intracelular de  $\text{CO}_2$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico e, conseqüentemente, um maior valor de  $\delta^{13}\text{C}$  (Verheyden *et al.*, 2004).

Uma vez que as plantas têm um importante papel na reciclagem da matéria orgânica e nutrientes, a determinação da composição química do tecido vegetal é fundamental para a compreensão dos processos de interação planta-sedimento e planta-água. No que se refere à vegetação do manguezal, é importante quantificar essa composição devido ao seu papel na produtividade das águas costeiras, na cadeia alimentar de detritos e na ciclagem de nutrientes. As diferenças na quantidade e na qualidade de produção são importantes para se determinar a eficiência com a qual a matéria e energia são transformadas de um nível trófico para outro (Delitti, 1995; Tam *et al.*, 1998).

O manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul é o maior da região norte do Estado do Rio de Janeiro. Além disso, existe uma escassez de estudos referentes à composição nutricional da serrapilheira no ecossistema de manguezal. O estudo do conteúdo de nutrientes da serrapilheira fornece informações importantes acerca do estado nutricional da floresta de manguezal.

O teor de nutrientes nas frações da serrapilheira tem sido pouco estudado em ecossistema de manguezal, destacando alguns trabalhos como o de Panitz (1986) em Santa Catarina, Schmidt (1988) em São Paulo, Silva *et al.* (1998) no Rio de Janeiro, Almeida (2001) no Espírito Santo e Ramos e Silva *et al.* (2006) e Ramos e Silva *et al.* (2007) no Rio Grande do Norte. No manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul deve ser destacado o estudo desenvolvido por Bernini (2003) sobre a caracterização

nutricional em folhas verdes de diferentes espécies vegetais. Na Austrália, MacFarlane et al. (2003) estudaram a composição metálica em folhas de serapilheira de *A. marina*. Lovelock et al. (2006) estudaram a dinâmica do fósforo e do nitrogênio em manguezal da Flórida.

O presente estudo faz parte do projeto “Ecologia e Biogeoquímica de Manguezais” da Universidade Estadual do norte Fluminense (UENF) e juntamente com os resultados dos demais subprojetos servirá de subsídio para uma proposta de plano de manejo do ecossistema manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, sob a coordenação do Prof. Dr. Carlos Eduardo de Rezende. Este trabalho é de grande relevância para o estudo da ciclagem de elementos no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul uma vez que permitiu a caracterização elementar das folhas de serapilheira e avaliar a contribuição de cada espécie para o fluxo de elementos para o estuário.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a composição elementar, isotópica e o aporte sazonal e de elementos de folhas de serrapilheira produzida pelo manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Determinar e comparar as concentrações de elementos na fração folhas de serapilheira produzida pelas florestas das espécies *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*;
- Determinar a composição isotópica fração folhas de serapilheira produzida pelas diferentes espécies, a fim de permitir o estudo de fontes de matéria orgânica para a região costeira;
- Avaliar e comparar o aporte de nutrientes da fração folhas de serrapilheira.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

A bacia do Paraíba do Sul integra a região hidrográfica do leste com uma área de 57.000 km<sup>2</sup> e representa 30% a mais do que a área total do Estado do Rio de Janeiro (~ 44.000 km<sup>2</sup>). Contudo, em termos nacional e regional sua área corresponde a 0,7% do país e 6% da região Sudeste do Brasil. A bacia estende-se pelos estados de São Paulo (13.500 km<sup>2</sup>), Rio de Janeiro (22.600 km<sup>2</sup>) e Minas Gerais (20.900 km<sup>2</sup>) (DNAEE, 1993). O rio, que apresenta fluxo de água de aproximadamente 250 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> no seu curso superior, atravessa uma das áreas mais industrializadas do estado e recebe efluente orgânico e inorgânico de diferentes tipos (Pfeiffer *et al.*, 1986).

A região do estuário do rio Paraíba do Sul apresentou um notável progresso econômico nos séculos XVII e XVIII em virtude do desenvolvimento da cultura canieira e cafeeira. Este desenvolvimento ocorreu à custa da devastação da cobertura vegetal nativa. O crescimento econômico do país, o uso de suas águas foi consideravelmente ampliado e, atualmente, serve para abastecimento, irrigação, geração de energia elétrica e corpo receptor de efluentes industriais e domésticos. Contudo, esse uso não levou em consideração os potenciais impactos causados por estes usos sobre o estuário (Costa, 1994).

O estuário do rio Paraíba do Sul é classificado como um delta em forma de cúspide, caracterizado pelo desenvolvimento de cristas de praia nos lados do canal. Possui uma saída principal na região de Atafona, município de São João da Barra e outra secundária ao norte da desembocadura, nas proximidades de Gargaú, município de São Francisco do Itabapoana. Na parte mais externa apresenta planície formada por uma sucessão de faixas arenosas alongadas que apresentam limites, largura e extensões variáveis, intercaladas por terrenos superficialmente argilosos onde se desenvolvem as áreas de manguezais (Costa, 1994).

O manguezal desta região é o maior do Estado do Rio de Janeiro, com aproximadamente 800 ha, e cuja floresta é constituída por *Avicennia germinans* (L.) Stearn., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. e *Rhizophora mangle* (Figura 1). A área tem sido alvo de freqüentes ações de degradação, como atividade extrativista de

árvores para geração de energia, obtenção de caibros para a construção civil, confecção de cercas e tutores de cultivo de maracujá; invasão da pecuária; urbanização principalmente nas localidades de Gargaú e Atafona; obras de dragagem efetuada no canal principal e abertura de novos canais. Há ainda a captura predatória do caranguejo *Ucides cordatus* mediante a colocação de pequenas redes nas bocas das galerias, prática que não distingue macho de fêmea, ou mesmo o adulto do jovem, o que desequilibra as populações da espécie (Sofiatti, 2001).

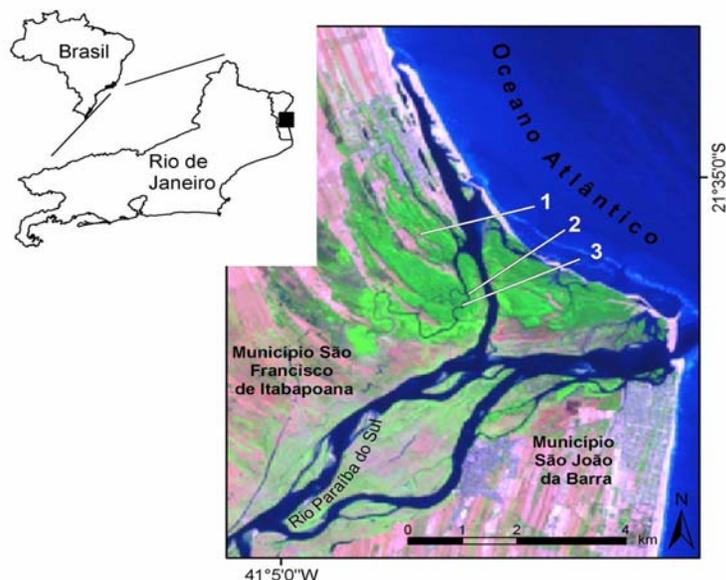


Figura 1: Localização dos sítios de estudo no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. (Sítio 1: Floresta monodominante de *Laguncularia racemosa*; Sítio 2: Floresta monodominante de *Rhizophora mangle* e Sítio 3: Floresta monodominantes de *Avicennia germinans*).

O clima predominante é o do tipo Aw (quente e úmido com chuvas de verão), com temperatura média mínima de 19°C e média máxima de 24°C. A precipitação anual encontrada foi 1.300 mm (Figura 2). O estuário está sob o regime de micro-marés, com marés semidiurnas. Baseado em dados do Terminal da Ponta do Ubu, Estado do Espírito Santo (20°44'S; 40°32'W), no período entre 2001 e 2002, a média das marés foi de 0,8 m, com intervalo médio de 0,2 e 1,3 m (DHN, 2001).

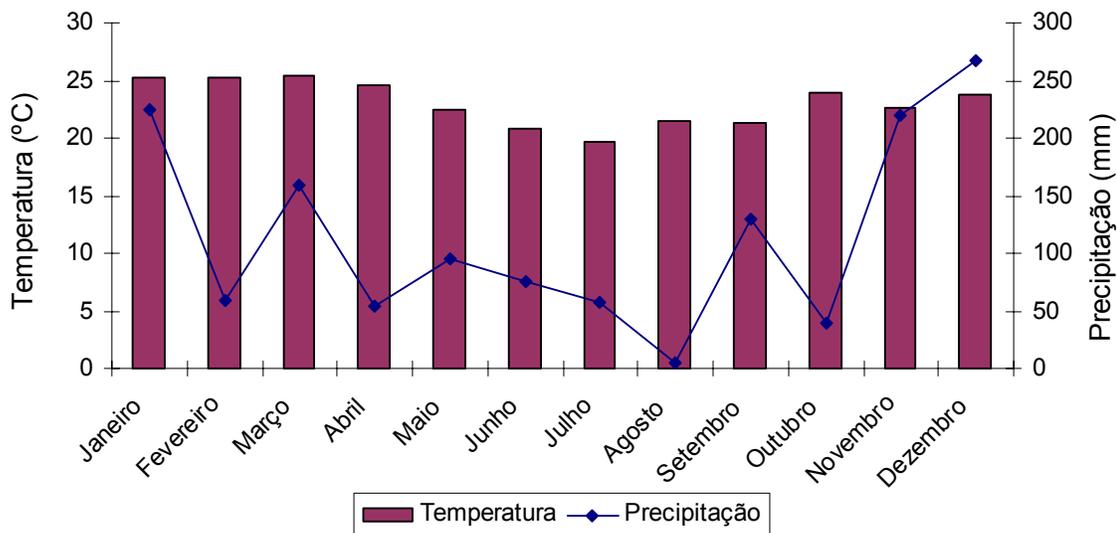


Figura 2: Temperaturas médias mensais e precipitação total mensal dos meses de coleta da serapilheira no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (Fonte: Pesagro).

### 3.2. Coleta de Serapilheira

A serapilheira foi coletada através das cestas coletoras de 0,7 x 0,7 m (0,49 m<sup>2</sup>), (o tamanho dos coletores foi escolhido seguindo trabalhos realizados no Laboratório de Ciências Ambientais-UENF, tais como Nascimento (2005) e Mazurec (1998)), forradas com tela de nylon de 1 mm (Figura 3). Em cada bosque foram instaladas 7 cestas coletoras à 5 m de distância da margem do canal, totalizando 21 coletores de serapilheira (Figura 3). Este trabalho foi complementar ao estudo de produção de serapilheira e estrutura de floresta de Bernini (2008), o qual foi desenvolvido nas mesmas áreas de estudo, utilizando as mesmas cestas coletoras. Dados de altura, DAP (diâmetro na altura do peito), área basal viva, densidade de troncos mortos e salinidade nos sítios estudados (conforme localização no mapa) são indicados na Tabela I <sup>(1)</sup>.

A serapilheira foi coletada quinzenalmente, por um período de um ano (Janeiro a Dezembro de 2005), totalizando 24 coletas. O conteúdo de cada cesta foi armazenado em sacos de papel e levados ao laboratório. O material coletado foi submetido à secagem em estufa a 80°C por 48 horas até peso constante. As amostras de serapilheira foram triadas de acordo com a espécie e a fração folhas foi separada para

posterior análise química. A escolha da fração folhas ocorreu devido a sua maior contribuição na produção de serrapilheira (Tabela II) <sup>(1)</sup>. Esta fração correspondeu a 58% para *L. racemosa*, 58% para *A. germinans* e 65% para *R. mangle*. As amostras foram moídas em moinho elétrico de pá, liquidificador-picador e em moinho analítico (Quimis-Q298A21).



Figura 3: Coletores de serrapilheira no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, RJ (Foto cedida por Bernini, 2008)<sup>1</sup>

Tabela I. Parâmetros estruturais da vegetação e salinidade da água intersticial dos sítios analisados no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, RJ (DAP: diâmetro à altura do peito; média±desvio padrão) (Dados cedidos por Bernini, 2008).

Sítio	Altura média (m)	DAP médio (cm)	Área basal viva (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Densidade de troncos vivos (troncos.ha <sup>-1</sup> )	Espécie dominante	Salinidade
S1	5,5 ± 1,9	5,7	22,3	8.800	<i>L. racemosa</i>	2,3
S2	10,4 ± 4,2	16,6	21,8	1.026	<i>R. mangle</i>	2,7
S3	8,0 ± 2,1	9,3	22,9	3.334	<i>A. germinans</i>	2,0

<sup>1</sup> Dados cedidos pela pesquisadora Elaine Bernini, como parte de sua tese de Doutorado pela Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade estadual do Norte Fluminense.

Tabela II. Média e desvio padrão da produção de serapilheira total (somatório das frações) e as frações ( $\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, no período de Janeiro a Dezembro de 2005. (Resto: material não identificado)

<b>Fração</b>	<b><i>A. germinans</i></b>	<b><i>L. racemosa</i></b>	<b><i>R. mangle</i></b>
Folhas	1,74 ± 0,65	2,24 ± 1,16	2,73 ± 0,93
Madeira	0,44 ± 0,58	0,33 ± 0,57	0,45 ± 0,55
Flores	0,24 ± 0,30	0,06 ± 0,07	0,24 ± 0,19
Frutos	0,82 ± 1,49	1,09 ± 2,38	0,57 ± 0,83
Resto	0,04 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,11 ± 0,05
Total	3,34 ± 1,63	3,83 ± 2,69	4,19 ± 2,07

### 3.3. Métodos Analíticos

#### 3.3.1. Determinação de Macro e Microelementos do Material Vegetal

A determinação da composição inorgânica foi realizada em 84 alíquotas de 0,5 g de amostra seca (peso seco). Inicialmente, as amostras foram colocadas em bombas de teflon, nas quais foram adicionados 10 mL de ácido nítrico concentrado + 4 mL de ácido fluorídrico concentrado. O extrato foi mantido em repouso durante a noite no bloco digestor e então aquecidos a 130°C por cerca de 6 h, resfriados, redissolvidos em ácido nítrico 0,5 N e filtrados (filtro Quanta, abertura 25 µm) a um volume final de 25 mL. A determinação dos macronutrientes (Ca, K, Mg, Na e P) e dos micronutrientes (Cu, Mn, Zn, Al e Fe) foi realizada no equipamento ICP-AES. Todo o procedimento analítico foi realizado no Laboratório de Ciências Ambientais (LCA).

Durante a digestão do material vegetal foram feitas triplicatas a cada 10 amostras e os resultados expressos na forma de coeficiente de variação analítico para cada elemento. Testes de exatidão com padrões certificados foram realizados e os resultados são apresentados nas Tabela III.

Tabela III: Valores teste de metodologia do padrão certificado (“Apple Leaves”)

Elementos	Certificado (%)	Obtido (%)	Recuperação (%)
Ca	1,53	1,26	83
Mg	0,27	0,22	84
K	1,61	1,17	73

Elementos	Certificado (µg.g <sup>-1</sup> )	Obtido (%)	Recuperação (%)
Fe	83,0	85,5	103
Mn	54,0	39,0	72
Zn	12,5	9,82	79
Cu	5,64	4,53	80

A partir dos resultados do teste de metodologia, observou-se que as recuperações para Ca, Mg, K, Fe, Al, Mn, Zn, Cu foram satisfatórias (acima de 70%). Os coeficientes de variação ficaram em torno de 10% para os elementos determinados.

Houve necessidade de adição padrão de 1 µg/mL para Zn e Cu devido às baixas concentrações destes elementos no padrão certificado (Tabelas IV e V).

Tabela IV. Precisão analítica das réplicas realizadas na determinação dos elementos da fração folhas de serapilheira. (n=10 para Ca, K, Mg, Na, P e n=20 para C, N,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) CV = coeficiente de variação (%)

	Ca	K	Mg	Na	P	C	N	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
CV	8	9	12	10	11	12	9	1	14

Tabela V. Precisão analítica das triplicatas realizadas na determinação dos microelementos da fração folhas de serapilheira. (n=10). CV = coeficiente de variação (%).

	Cu	Mn	Zn	Al	Fe
CV	13	11	9	13	10

### 3.3.2. Composição Elementar e Isotópica do C e do N

A determinação da composição elementar e isotópica do carbono e do nitrogênio foi realizada em 2 mg das frações da serapilheira e pesadas em cápsulas de estanho. As determinações foram feitas em espectrômetro de massa ThermoQuest Finnigan Delta Plus acoplado a CHN Ceinstruments 1110 e realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Cena-USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura- Universidade de São Paulo). Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e de  $\delta^{15}\text{N}$  são expressos em partes por mil (‰). Nessas determinações foram feitas triplicatas a cada 20 amostras para o controle analítico.

### 3.3.3. Aporte de Nutrientes

O aporte de nutrientes através da produção de serapilheira foi calculado multiplicando a concentração média mensal de cada elemento pela produção mensal da fração folhas de serapilheira em um determinado mês cedida por Bernini (2008). O aporte anual foi calculado somando o aporte de todos os meses. Os resultados obtidos expressos em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

### 3.4. Análise dos Dados

Inicialmente, foi feita uma análise descritiva (média e desvio padrão) dos dados referentes à concentração e ao aporte de nutrientes. O teste de premissas da análise de variância (homoscedasticidade e normalidade) foi realizado no programa R-System 2.2.1 para todos os elementos tanto para os dados de concentração quanto para os dados de aporte.

Para a concentração de Ca, K, Mg, Na, P, C, N, C/N, C/P, N/P,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , Cu, Mn, Al e Fe foi realizada uma ANOVA *two-way*, seguida do Teste de Tukey para detectar diferenças entre as espécies e os meses de estudo. Para o elemento Zn foram calculadas as medianas para a realização do teste não paramétrico Kruskal Wallis, seguido do Teste de Dunn, uma vez que para este elemento as premissas da análise de variância não foram aceitas (normalidade). O teste foi realizado no programa GraphPad Prism 4 Demo.

Para os valores de aporte de nutrientes foi realizada uma ANOVA *one-way* para todos os elementos a fim de observar diferenças entre as espécies. Toda a análise de Variância (ANOVA) foi realizada através do programa "Statistic 6.0". Os valores foram considerados significativos para  $p \leq 0,05$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Concentração e Aporte de Macronutrientes

As adaptações presentes em plantas de mangue devido ao ambiente salino e baixos teores de oxigênio dissolvido em que vivem podem afetar a absorção e a distribuição dos nutrientes nas plantas (Lacerda *et al.*, 1985). Devido à importância das plantas de mangue nas cadeias alimentares detriticas que são originados principalmente pela queda das folhas, é importante a determinação da concentração e do aporte dos nutrientes incorporados nas folhas das plantas de mangue. Cátions como K, Mg e Ca são importantes para a ecofisiologia das plantas. Em ecossistemas de manguezal, a concentração destes cátions tem influenciado significativamente a estrutura da vegetação. Ukpong (1997) num estudo em um manguezal na Nigéria mostrou que nutrientes como Ca, Na, Mg e K determinados no sedimento apresentaram uma influência na estrutura da vegetação. A relação da vegetação com os nutrientes do sedimento revela a produtividade do ecossistema.

Odum & Heald (1975) enfocam os manguezais como ecossistemas altamente produtivos, que contribuem significativamente para a fertilidade das águas costeiras, devido: a produção de grande quantidade de matéria orgânica, exportação desta matéria orgânica para águas costeiras adjacentes, transformação do material foliar em partículas de detrito e utilização destes detritos como alimento para um grande número de organismos consumidores. Uma alta percentagem da produção líquida do manguezal está representada pela serapilheira. Esta, por sua vez, representa uma fração da produção líquida da planta que pode ser acumulada no sedimento do bosque, remineralizada através da decomposição e/ou exportada para áreas vizinhas (Pool *et al.*, 1975). A produção de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul é mostrada na Figura 4 <sup>(1)</sup>.

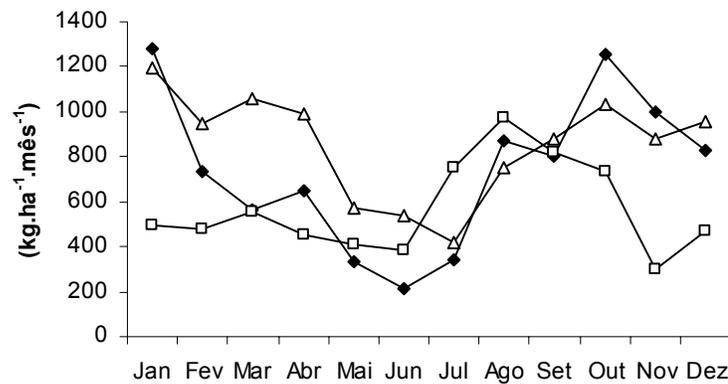


Figura 4: Produção de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).<sup>1</sup>

A concentração média anual dos macronutrientes nas folhas de serapilheira seguiu a ordem decrescente para *Laguncularia racemosa*: C>Ca>N>K>Mg>Na>P; *Avicennia germinans*: C>N>K=Na>Mg>Ca>P e *Rhizophora mangle*: C>Ca>Na>N>Mg>K>P. A seqüência decrescente dos elementos mostra que a abundância absoluta dos elementos muda para cada espécie. As concentrações anuais dos nutrientes determinados nas folhas foram diferentes entre as espécies para a maioria dos macronutrientes, exceto para o elemento P, o qual não apresentou diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ) entre as espécies (Figuras 5 e 6). As razões C/N, N/P e C/P são mostradas na figura 7.

<sup>1</sup> Dados cedidos pela pesquisadora Elaine Bernini, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte de sua tese de doutorado.

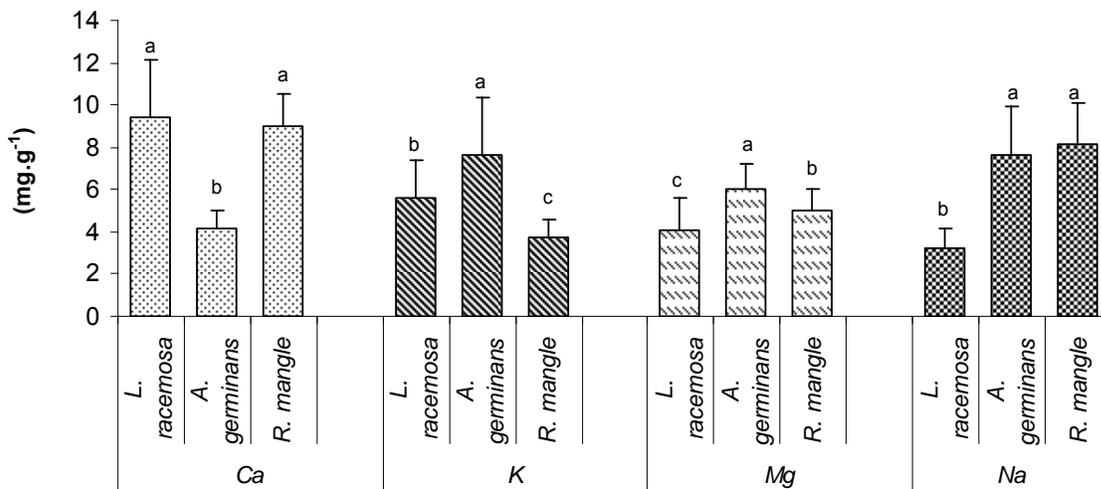


Figura 5: Concentração média anual para os macroelementos determinados nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA *one-way*) entre as espécies estudadas.

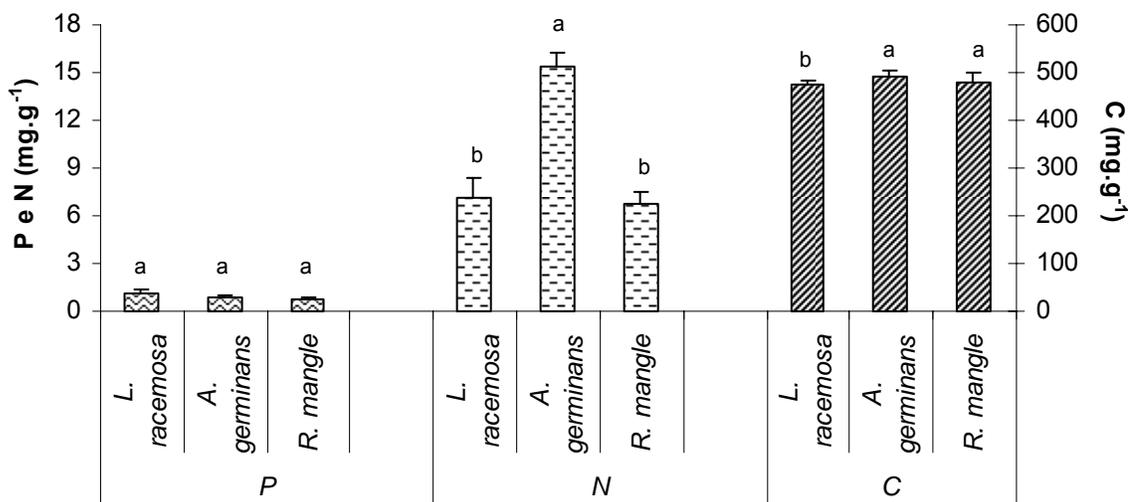


Figura 6: Concentração média anual para os macroelementos P, N e C determinados nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA *one-way*) entre as espécies estudadas.

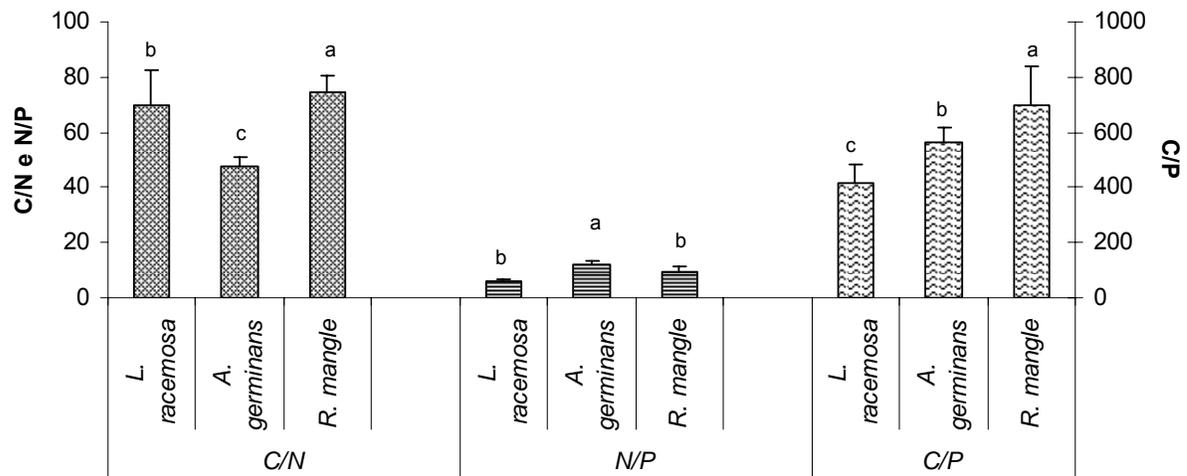


Figura 7: Razões C/N, N/P e C/P das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA *one-way*) entre as espécies estudadas.

O aporte de macronutrientes da serapilheira para o sedimento seguiu a seguinte ordem para *L. racemosa*:  $C > Ca > N > K > Mg > Na > P$ ; *A. germinans*  $C > N > K > Na > Mg > Ca > P$  e *R. mangle*:  $C > Ca > Na > N > Mg > K > P$  (Figura 8). O valor anual do aporte para os macronutrientes estudados encontra-se no Apêndice 1. O aporte anual de macronutrientes diferiu entre as espécies para a maioria dos elementos, com exceção do N.

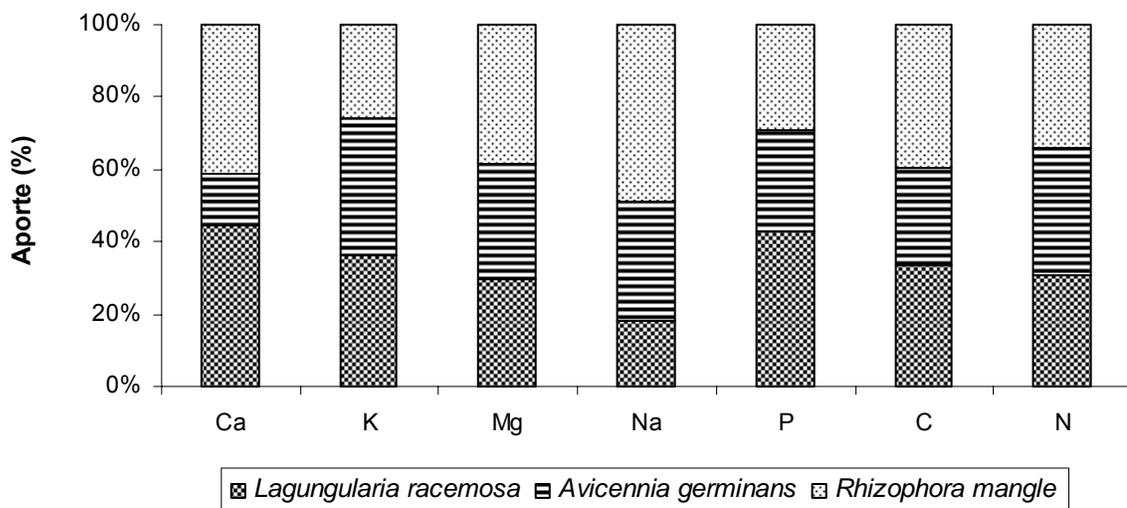


Figura 8: Aporte anual (%) de macronutrientes das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.

#### 4.1.1 Cálcio

O elemento Ca é um importante componente da parede celular e de várias funções dentro da célula, tendo a capacidade de formar sistemas tampão com os carbonatos, determinando o pH do meio (Schimdt, 1988). A absorção de Ca é fortemente influenciada pelo efeito antagônico de Na e a concentração de Ca nas folhas das espécies de mangue parece ser controlada pelos níveis de Ca nos sedimentos (Lacerda *et al.*, 1986 a). Logo, as variações observadas neste elemento são um reflexo das variações das condições salinas do meio, onde estas espécies vivem. Segundo estes autores, os elementos como Ca, Mg, Na e K, cuja fonte principal é o mar, apresentam uma variabilidade menor nas folhas do que aqueles supridos por fontes terrestres (ex Fe, Mn, Cu e Zn).

O elemento Ca apresentou maiores concentrações anuais para *L. racemosa* e *R. mangle* ( $9,42 \pm 2,71$  e  $9,03 \pm 1,50$  mg.g<sup>-1</sup> respectivamente), porém não diferiram significativamente, e a menor para *A. germinans* ( $4,19 \pm 0,82$  mg.g<sup>-1</sup>) (Figura 5). Para a variação mensal da concentração de Ca nas folhas de serapilheira verificou-se para *L. racemosa* e *R. mangle* valores próximos durante os meses de estudo, com aumento da concentração em Julho (Figura 9). Almeida (2001) observou que a concentração de Ca na serapilheira de *R. mangle* no Canal da Passagem-ES foi de  $18,1$  mg.g<sup>-1</sup>, o que corresponde a duas vezes o valor encontrado na serapilheira amostrada (Tabela VI). Bernini (2003) estudando a concentração de Ca em folhas verdes adultas no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul-RJ observou que a concentração de Ca em *A. germinans* foi menor do que as demais espécies ( $1,27$  mg.g<sup>-1</sup>), o mesmo encontrado por Cuzzuol & Campos (2001) ( $3,20$  mg.g<sup>-1</sup>), no manguezal do estuário do rio Mucuri-BA e Bernini (2006) no estuário do rio São Mateus-ES ( $3,28$  mg.g<sup>-1</sup>). Este comportamento pode ser devido à presença de oxalato livre na raiz, o que causa a precipitação deste elemento e, possivelmente, evita seu transporte no xilema (Popp, 1984; Medina *et al.*, 2001). Comparando os dados de concentração de Ca de Bernini (2003) com folhas verdes adultas com os deste estudo realizado com folhas senescentes no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, é possível sugerir que há um acúmulo deste elemento na folha senescente resultante de sua adaptação em

ambiente com elevada salinidade, sendo a queda serapilheira um mecanismo para eliminar esta alta concentração.

Os valores médios do aporte de Ca da fração folhas de serapilheira foram:  $88,6 \pm 25,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para *L. racemosa*;  $28,6 \pm 3,91 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para *A. germinans* e  $91,3 \pm 3,92 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para *R. mangle* (Figura 8). O aporte de Ca para as três espécies foi reduzido entre os meses de Maio a Julho e a partir deste mês, as três espécies exibiram um aumento na contribuição de Ca na fração folhas de serapilheira enquanto *L. racemosa* apresentou um pico no mês de Outubro (Figura 10). A espécie *R. mangle* apresentou maior contribuição do elemento Ca para o estuário do rio Paraíba do Sul, devido ao seu maior aporte.

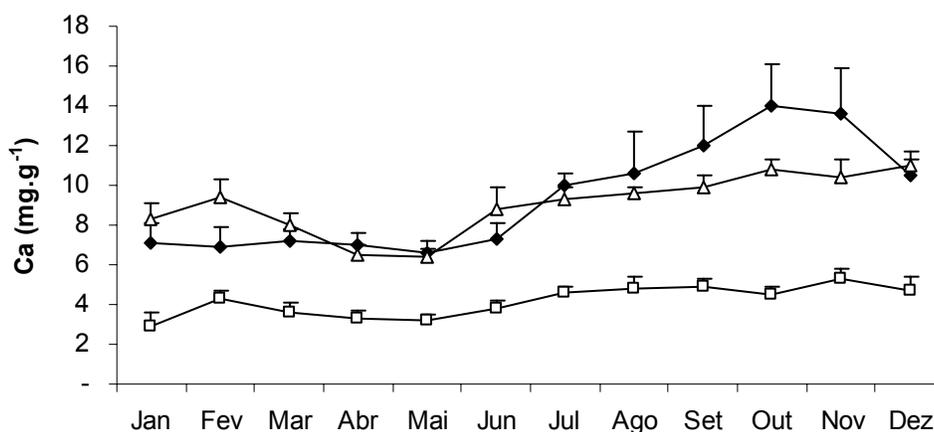


Figura 9: Variação mensal da concentração do elemento Ca nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

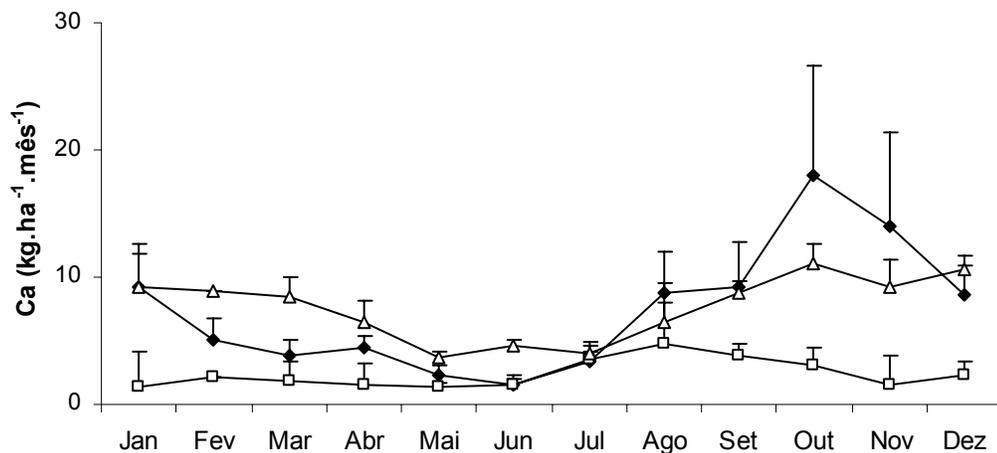


Figura 10: Variação mensal do aporte de Ca de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

#### 4.1.2. Potássio

Em relação ao elemento K, as três espécies mostraram diferenças significativas para as suas concentrações anuais, sendo a espécie *A. germinans* a que mostrou maior concentração ( $7,66 \pm 2,66 \text{ mg.g}^{-1}$ ) (Figura 5). Esta dominância também foi observada por Bernini (2003) e Lacerda *et al.* (1986 a) em folhas verdes adultas das espécies de mangue. *L. racemosa* apresentou concentração anual de  $5,63 \text{ mg.g}^{-1}$  e *R. mangle*  $3,73 \text{ mg.g}^{-1}$ . Panitz (1986), estudando a concentração de K em folhas de serapilheira de plantas do manguezal do rio Itacorubi-SC, destacou maior concentração para a espécie *A. schaueriana* em relação à *L. racemosa* e *R. mangle*, padrão este similar ao encontrado neste estudo para *A. germinans* (Tabela VI). Para o elemento K também é possível sugerir um mecanismo de eliminação de sais das espécies de mangue através de queda de folhas de serapilheira quando comparados a concentração de K de folhas verdes adultas de Bernini (2003) com folhas senescentes deste estudo.

Com relação ao K, a maior concentração observada em *A. germinans*, provavelmente refletem a maior permeabilidade a sais nas raízes destas espécies, o que é característico do mecanismo de excreção de sal presente neste gênero (Lacerda

*et al.*, 1985, Medina *et al.*, 2001). Segundo Lacerda *et al.* (1986 a), parece não haver uma correlação entre a concentração de K nas folhas e a concentração nos sedimentos devido ao fato deste elemento apresentar uma grande mobilidade. A diminuição dos teores de K durante o processo de desenvolvimento foliar (jovem-adulta-senescente) parece refletir a alta mobilidade deste elemento, extremamente solúvel, participando de processos osmóticos e atividades enzimáticas, e, portanto, também deve ser retranslocado das folhas maduras para regiões de síntese da planta (Almeida 2001), assim como na fase de senescência. Na Figura 11, observou-se que *L. racemosa* e *A. germinans* apresentaram uma dinâmica mensal semelhante para a concentração de K, com as menores concentrações encontradas no mês de Junho e novembro e *R. mangle* exibiu baixas concentrações durante todo o ano.

Para o aporte do elemento K, *L. racemosa* e *A. germinans* não diferiram entre si ( $53,1 \pm 15,6$ ;  $55,8 \pm 11,7$   $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  respectivamente), mas mostraram diferenças em relação à espécie *R. mangle* ( $37,4 \pm 3,46$   $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ) (Figura 8). Na Figura 12, encontra-se a variação do aporte de K, com as três espécies mostrando as menores taxas nos meses de Junho e Novembro, seguindo o padrão de produção de folhas de serapilheira. *A. germinans* e *L. racemosa*, comparadas à *R. mangle*, apresentaram alta concentração de K a partir do mês de Julho, com a concentração mais alta no mês de Agosto, sendo este mês o de menor precipitação. Verificou-se alto valor de produção com o mesmo padrão para o aporte de K através da serapilheira foliar (Figura 4 e 12). Isto sugere que as plantas podem eliminar um provável excesso iônico interno de K através da queda das folhas. Isto porque as folhas de serapilheira deste estudo possuem maiores valores quando comparadas às folhas adultas analisadas por Bernini (2003). A espécie *A. germinans* apresentou maior contribuição do elemento K para o estuário do rio Paraíba do Sul.

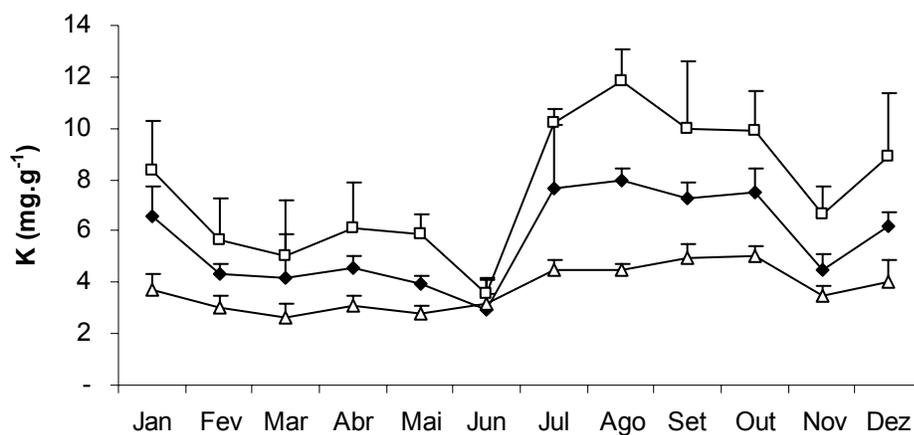


Figura 11: Variação mensal da concentração do elemento K nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

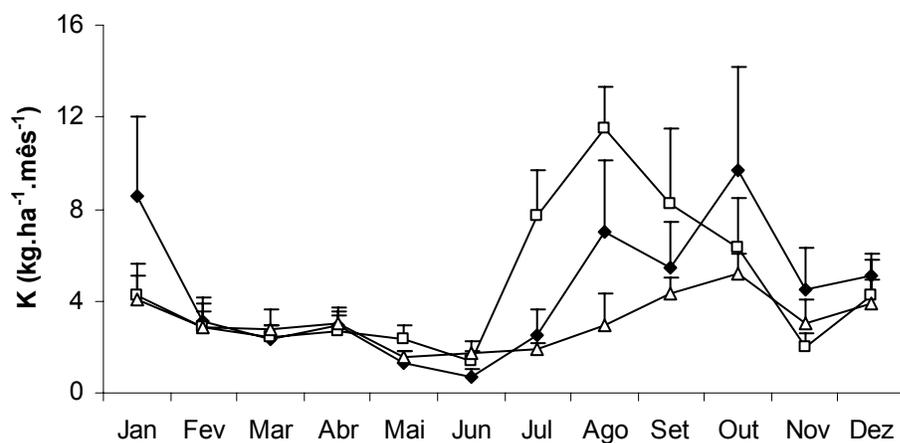


Figura 12: Variação mensal do aporte de K de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

### 4.1.3. Magnésio

Segundo Larcher (2000), este elemento se encontra na planta sob a forma iônica, formando complexos; faz parte da molécula de clorofila e é importante componente das enzimas. O Mg atua em antagonismo com o Ca, na regulação da hidratação das células e no processo fotossintético e em sinergismo com o Mn e o Zn.

As três espécies estudadas diferiram significativamente entre si para o elemento Mg, tendo *A. germinans* a maior concentração anual ( $6,02 \pm 1,17 \text{ mg.g}^{-1}$ ) (Figura 5). Este padrão também foi verificado por Panitz (1986) para folhas de serapilheira da espécie *A. schaueriana* e por Bernini (2006) em folhas verdes adultas para *A. germinans*. Lacerda *et al.* (1986 a) observaram maior concentração de Mg para a espécie *R. mangle*. Almeida (2001) encontrou concentração anual de Mg na serapilheira de *R. mangle* de  $5,48 \text{ mg.g}^{-1}$ . Estes valores foram maiores que os encontrados neste estudo para a mesma espécie (Tabela VI). Leitão (2004), estudando folhas verdes adultas de *R. mangle* e *L. racemosa* no manguezal da Baía de Aratu-BA observou concentração média de Mg de  $8,60 \text{ mg.g}^{-1}$  para *R. mangle* e  $3,91 \text{ mg.g}^{-1}$  para *L. racemosa*. A concentração de Mg de *R. mangle* encontrados por Leitão (2004) foi maior que a concentração observada neste estudo ( $4,99 \text{ mg.g}^{-1}$ ) e para *L. racemosa* a concentração de Mg encontrada pelo mesmo autor foi próxima à encontrada neste trabalho ( $4,09 \text{ mg.g}^{-1}$ ). A variação mensal da concentração de Mg exhibe as diferenças entre as três espécies ao longo do ano, onde um aumento na concentração de Mg foi observado no mês de Julho para as três espécies (Figura 13). Este aumento de concentração pode ser devido à baixa precipitação neste mês (Figura 2) levando a um aumento a partir deste mês. Assim como os elementos Ca e K, pode-se sugerir o acúmulo de Mg em folhas senescentes como forma de eliminação do elemento, quando comparadas as concentrações deste estudo com as concentrações de Mg em folhas verdes adultas analisadas por Bernini (2003).

*L. racemosa* e *R. mangle* diferiram entre si em relação ao aporte anual de Mg ( $38,9 \pm 9,71$  e  $50,8 \pm 1,65 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  respectivamente), enquanto *A. germinans* não diferiu significativamente das demais espécies ( $42,4 \pm 5,89 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) (Figura 8). A variação mensal do aporte de Mg encontra-se representada na Figura 14. As três espécies apresentaram menores valores de aporte nos meses de Maio e Junho e um

aumento a partir do mês de Julho. *A. germinans* também apresentou uma queda no aporte no mês de Novembro e *L. racemosa* mostrou um pico no mês de Outubro. A espécie *R. mangle* apresentou maior contribuição do elemento Mg para o estuário do rio Paraíba do Sul.

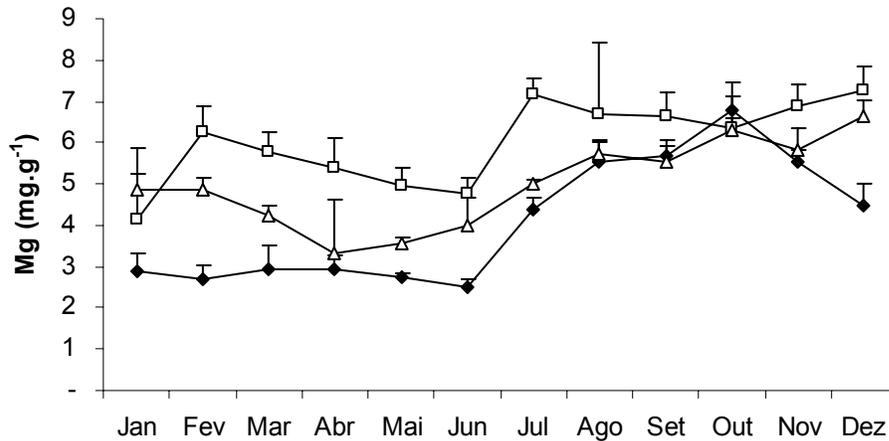


Figura 13: Variação mensal da concentração do elemento Mg nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

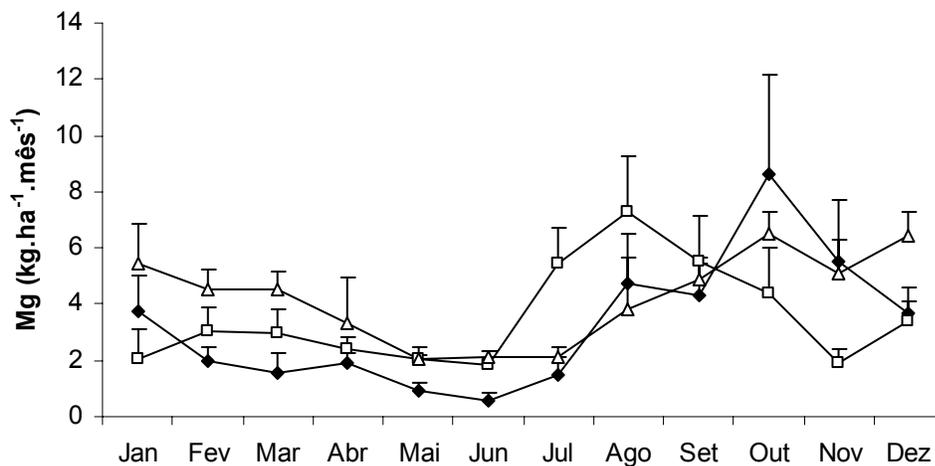


Figura 14: Variação mensal do aporte de Mg de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

#### 4.1.4. Sódio

As halófitas apresentam uma característica peculiar de apresentar elevadas concentrações de Na, que tem a função de controlar a absorção de nutrientes e água do sedimento. Para a concentração do macroelemento Na, *A. germinans* e *R. mangle* não diferiram significativamente ( $7,81 \pm 2,28$  e  $8,17 \pm 1,89$  mg.g<sup>-1</sup> respectivamente), e a espécie *L. racemosa* se destacou pela menor concentração anual ( $3,22 \pm 0,95$  mg.g<sup>-1</sup>) (Figura 5). Panitz (1986) encontrou maior concentração de Na para folhas de serapilheira de *A. schaueriana* e a menor para *L. racemosa* (Tabela VI). Almeida (2001) encontrou alta concentração de Na para folhas de serapilheira de *R. mangle*, em torno de 16 mg.g<sup>-1</sup>. Neste estudo, a concentração de *R. mangle* foi quase duas vezes menor que a encontrada por Almeida (2001). Esta baixa concentração de Na neste trabalho, pode estar relacionada à grande influência fluvial, o que torna o manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul bastante distinto dos outros manguezais do Estado do Rio de Janeiro. Lacerda *et al.* (1986 a) encontraram maior concentração para *A. schaueriana* e assim como neste estudo, menor concentração para *L. racemosa*. De acordo com a Figura 15, observou-se que as espécies *L. racemosa* e *A. germinans* mostraram redução na concentração do elemento Na no mês de Junho, com aumento após este mês. Esta dinâmica de aumento da concentração também ocorreu para a espécie *R. mangle*.

Quanto ao aporte anual de Na, as três espécies diferiram significativamente entre si e *R. mangle* foi a espécie que exibiu maior valor ( $81,5 \pm 6,41$  kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), uma vez que esta mesma espécie revelou maior concentração anual de Na (Figura 8). A variação mensal do aporte de Na mostra que as três espécies apresentaram menores valores nos meses de Maio e Junho, com aumento no aporte a partir do mês de Julho. Os dados sugerem uma possível translocação de Na para as folhas senescentes, como uma forma de eliminar o excesso interno deste sal, uma vez que a concentração mais elevada de Na nas folhas senescentes foram registradas no período em que ocorreu maior queda das mesmas (Figura 16).

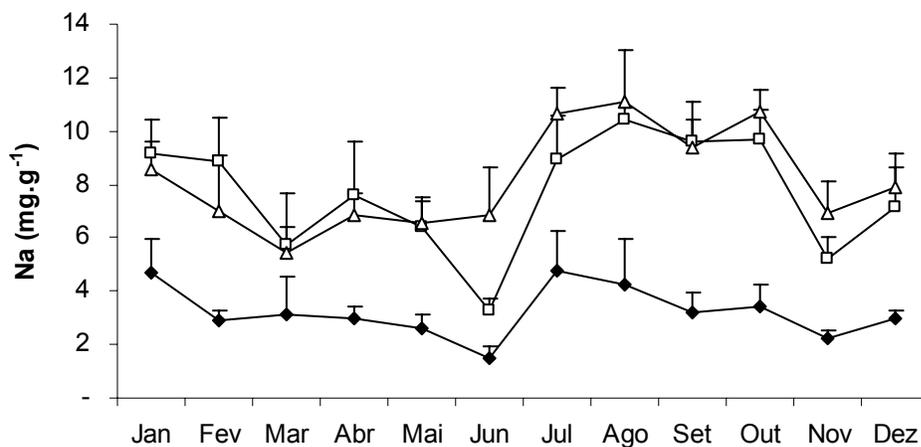


Figura 15: Variação mensal da concentração do elemento Na nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

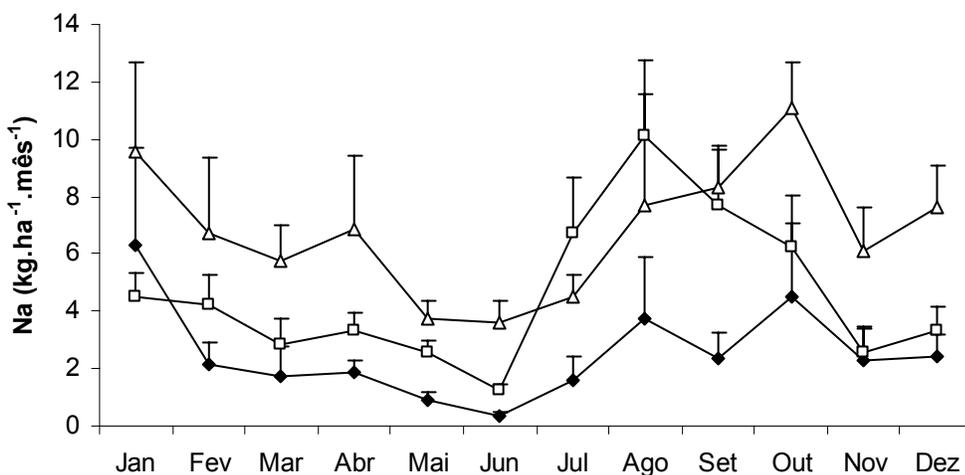


Figura 16: Variação mensal do aporte de Na de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

#### 4.1.5. Carbono

A fonte de carbono para as plantas é o dióxido de carbono do ar atmosférico que é incorporado na forma de compostos orgânicos, através da fotossíntese. Os manguezais contribuem com aproximadamente 15% do carbono orgânico globalmente acumulado nos sedimentos marinhos. As margens dos oceanos, incluindo os manguezais, conectam os ciclos do carbono da terra e do oceano (Dittmar *et al.*, 2006).

As espécies *A. germinans* e *R. mangle* não diferiram significativamente para a concentração de C ( $492 \pm 10,5$  e  $480 \pm 19,5$  mg.g<sup>-1</sup> respectivamente), enquanto a espécie *L. racemosa* mostrou uma concentração ligeiramente menor ( $476 \pm 7,11$  mg.g<sup>-1</sup>) (Figura 6). Esta menor concentração de C para *L. racemosa*, também foi observada por Panitz (1986) em que a espécie apresentou concentração de C de 426 mg.g<sup>-1</sup> e Bernini (2003) para folhas verdes adultas de *L. racemosa*, no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul-RJ (421 mg.g<sup>-1</sup>). Schmidt (1988) encontrou maiores concentrações de C, na estação Nóbrega I-SP, para *L. racemosa* (428 mg.g<sup>-1</sup>) e menor concentração para a espécie *A. schaueriana* (410 mg.g<sup>-1</sup>). Pelegrí *et al.* (1997) encontraram maior concentração C para *L. racemosa* (397 mg.g<sup>-1</sup>) e menor para *R. mangle* (351 mg.g<sup>-1</sup>). A concentração de C em folhas de serapilheira de *R. mangle* no manguezal do Canal da Passagem, observado por Almeida (2001) foi maior que os encontrados na literatura, em torno de 500 mg.g<sup>-1</sup> (Tabela VII). A pequena variabilidade da concentração de C pode estar relacionada ao fato do C ser um elemento formador de moléculas estruturais de grande peso molecular, como celulose, lignina e clorofila, proporcionalmente distribuídas e comuns a muitos tecidos vegetais (Schmidt, 1988).

Para o aporte anual de C, *L. racemosa* e *R. mangle* não diferiram significativamente entre si ( $4114 \pm 944$  e  $4814 \pm 253$  kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e a espécie *A. germinans* diferiu das demais espécies apresentando aporte anual menor ( $3285 \pm 347$  kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) (Figura 8). A variação do aporte de C mostra que *L. racemosa* e *R. mangle* exibiram menores valores de aporte entre os meses de Maio e Julho. *L. racemosa* teve um pico no mês de Outubro e *A. germinans* apresentou aumento no valor do aporte a partir do mês de Julho (Figura 18).

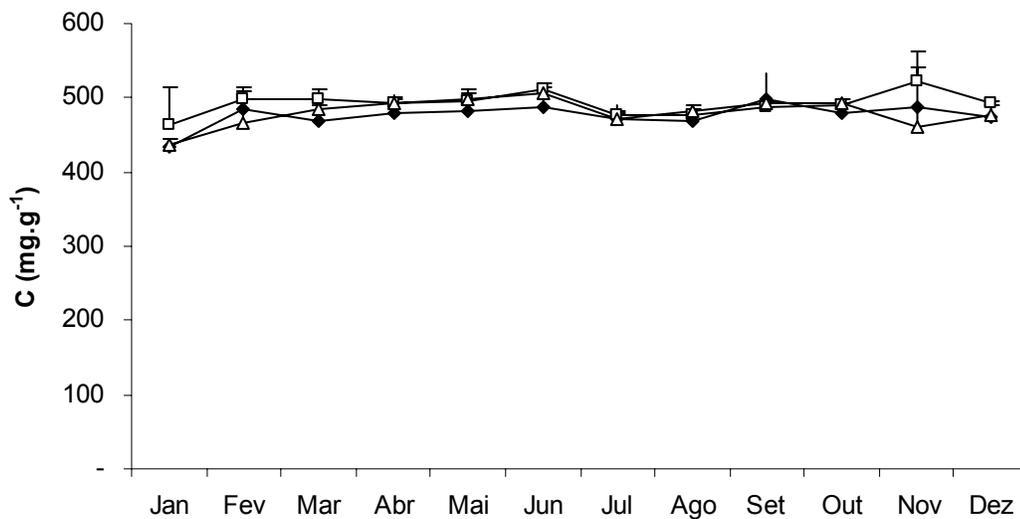


Figura 17: Variação mensal da concentração de C nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

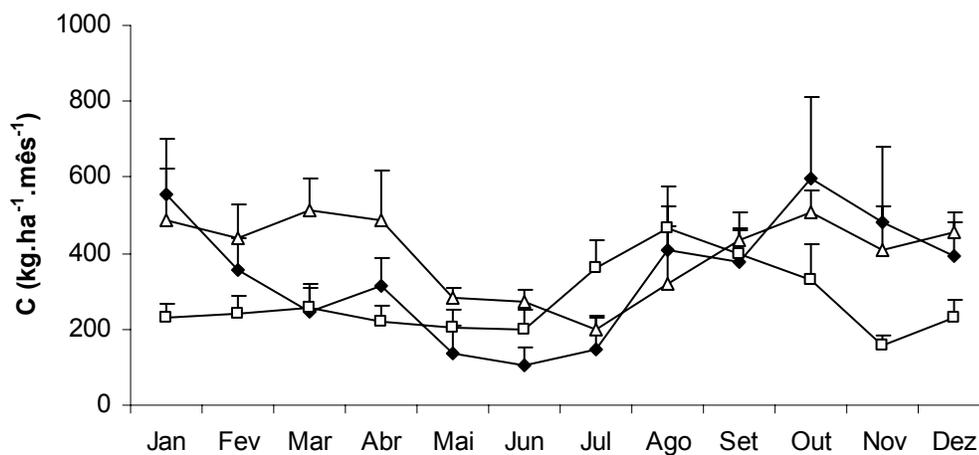


Figura 18: Variação mensal do aporte de C de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

#### 4.1.6. Nitrogênio

O nitrogênio é um elemento indispensável na constituição dos organismos. De acordo com Boyd (1968) *apud* Panitz (1986), as folhas apresentam teores mais elevados de nitrogênio do que as flores, caules e pecíolos. Assim como o elemento fósforo, o nitrogênio também é limitante no ecossistema de manguezal e este elemento pode ser remobilizado de folhas senescentes para as outras partes da planta. Em relação à concentração de N, *A. germinans* diferiu significativamente das demais, com concentração anual maior ( $10,5 \pm 0,9 \text{ mg.g}^{-1}$ ) (Figura 6). Não foram observadas relevantes variações na concentração de N durante os meses de estudo (Figura 19). Bernini (2006) também observou maior concentração para folhas verdes adultas desta mesma espécie no manguezal do estuário do rio São Mateus-ES ( $18,6 \text{ mg.g}^{-1}$ ). Tal comportamento tem sido confirmado para esta espécie e para *A. schaueriana* em outros trabalhos (Cuzzuol & Campos, 2001; Bernini 2003; Leitão, 2004). As maiores concentrações de N no gênero *Avicennia* pode ser resultado do acúmulo de glicinbetaína no citoplasma, um composto quaternário de amônio, que é considerado um soluto compatível para tolerância aos sais (Popp *et al.* 1984, Medina & Francisco 1997). Panitz (1986) obteve para folhas de serapilheira no mangue do rio Itacorubi-SC, concentração de N de  $4,70 \text{ mg.g}^{-1}$  para *A. schaueriana*,  $4,50 \text{ mg.g}^{-1}$  para *R. mangle* e  $3,60 \text{ mg.g}^{-1}$  para *L. racemosa*. Para folhas de serapilheira da espécie *R. mangle*, Almeida (2001) verificou concentração de N de  $8,10 \text{ mg.g}^{-1}$ , maior que o encontrado neste estudo para a mesma espécie (Tabela VII). Wafar *et al.* (1997) obtiveram teores de N de  $6,80 \text{ mg.g}^{-1}$  para *R. apiculata* e  $6,20 \text{ mg.g}^{-1}$  para *R. mucronata* no manguezal da costa oeste da Índia. Lin & Wang (2000) mostraram que durante a senescência de folhas das espécies *R. stylosa*, *K.candel* e *B. gymnorrhiza* em manguezal na China, grandes quantidades de N, P e K são retranslocados, enquanto que Cl, Na, Ca e Mg são acumulados nas folhas senescentes. Ellis *et al.* (2006) estudaram a alteração da composição química em folhas de *L. racemosa* por evento de congelamento na Flórida. Segundo estes autores, as folhas congeladas foram as mais ricas em N e os resultados sugeriram que o evento de congelamento interrompeu o processo de retranslocação. Esta perturbação no fluxo do N teve implicações na estrutura da floresta de mangue e na entrada de materiais do manguezal para as cadeias alimentares.

Comparando os dados da concentração de N de Bernini (2003) em folhas verdes adultas com os deste estudo é possível sugerir que existe retranslocação do elemento N das folhas senescentes para folhas mais novas, uma vez que a concentração do presente estudo foi quase duas vezes menor que o encontrado por Bernini (2003) no estuário do rio Paraíba do Sul (Tabela VII).

Quanto ao aporte anual de N, as três espécies não diferiram significativamente entre si (Figura 8). A variação mensal do aporte de N é mostrada na Figura 20, onde se observa que *L. racemosa* teve menores valores de aporte nos meses de Maio a Julho. *A. germinans* apresentou valores próximos de Janeiro a Junho. *R. mangle* exibiu menores valores de Maio a Agosto.

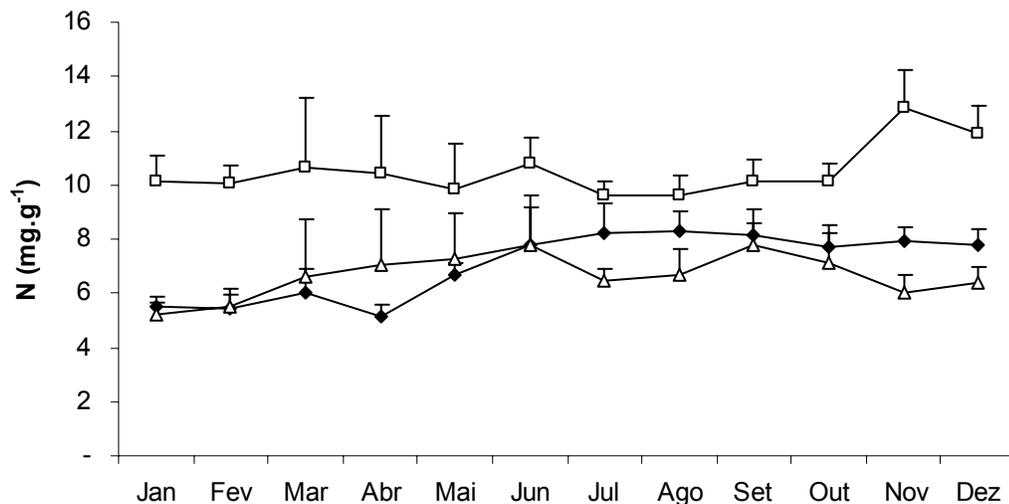


Figura 19: Variação mensal da concentração do elemento N nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

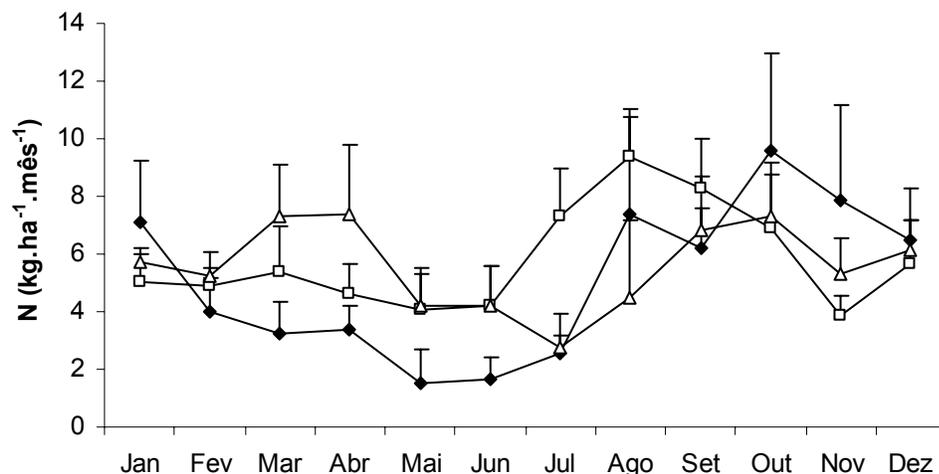


Figura 20: Variação mensal do aporte de N em folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

#### 4.1.7 Fósforo

O fósforo é geralmente limitante para o crescimento vegetal. As bactérias têm um papel essencial sobre a disponibilidade de fósforo, pois, indiretamente, mediam a liberação do ortofosfato dissolvido, a partir dos fosfatos insolúveis no meio. A principal fonte de fósforo para o mangue é o sedimento trazido pela maré (Panitz, 1986). Em condições de “ótimo fisiológico”, as folhas passam pelo processo natural de envelhecimento até tornarem-se senescentes e sofrerem abscisão, contribuindo com a serapilheira. Os estudos de composição mineral em folhas de serapilheira devem considerar o conceito de retranslocação que consiste na mobilização de nutrientes (como N e P) das folhas senescentes, tornando estes nutrientes disponíveis para posterior investimento em novas estruturas (Aerts, 1996; Alongi *et al.*, 1992). A produção de folhas de serapilheira é uma importante fonte de P para o sistema (Nielsen & Andersen, 2003).

As três espécies não diferiram significativamente para o elemento P, apresentando baixas concentrações deste elemento em todos os meses. A espécie *L. racemosa* apresentou um ligeiro aumento da concentração de P no mês de Agosto

(Figura 6 e 21). Os resultados da concentração de P em folhas de serapilheira do manguezal de Cananéia-SP encontrados por Schmidt (1988) apresentaram concentrações de P em torno de 0,02 mg.g<sup>-1</sup> para *R. mangle*, 0,03 mg.g<sup>-1</sup> para *L. racemosa* e 0,04 mg.g<sup>-1</sup> para *A. schaueriana*. Neste estudo, a concentração anual de P foi maior que a encontrada por Schmidt (1988) para as três espécies, em torno de 1 mg.g<sup>-1</sup>, tendo *L. racemosa* uma concentração ligeiramente maior. Leitão (2004) também obteve maior concentração de P para folhas adultas de *L. racemosa* (1,09 mg.g<sup>-1</sup>) no manguezal do rio Mucuri-BA. Almeida (2001) encontrou para *R. mangle*, concentração menor que deste estudo 0,40 mg.g<sup>-1</sup> (Tabela VII). Ramos e Silva *et al.* (2007) estudaram a dinâmica de fósforo no manguezal do rio Potengi-RN, demonstrando que o maior estoque desse elemento encontra-se no sedimento. Os autores observaram ainda, que as árvores de *R. mangle* contribuíram apenas com 23% da reserva total de P (sedimento + árvores). Os tecidos perenes, como a fração troncos, foram a principal reserva para o elemento P em *R. mangle*. Para a fração folhas de serapilheira estes autores encontraram concentração de 1,76 mg.g<sup>-1</sup>. No manguezal do estuário do rio Shark (sudeste da Flórida), Pelegrí *et al.* (1997) determinaram a concentração de P em folhas novas e folhas senescentes. Os resultados de concentração de P encontrados por estes autores em folhas senescentes para as espécies *R. mangle* e *L. racemosa* foram menores que os verificados neste estudo para as mesmas espécies (Tabela VII).

Como o elemento P possui papel fundamental no metabolismo basal e nos processos de fosforilação, e em função de sua essencialidade, é provável que o P seja remobilizado antes da abscisão para as folhas mais novas, de modo que, as concentrações registradas em folhas de serapilheira encontraram-se decrescidas. Em um manguezal na Flórida, Lovelock *et al.* (2006), em estudo com a espécie *Avicennia germinans*, observaram que áreas com deficiência de P, a planta apresentou menor potencial hídrico da folha, baixa taxa de assimilação de carbono e menor condutância dos estômatos. Assim, os autores concluíram que a deficiência de P afeta as vias hidráulicas em plantas de mangue.

O aporte de P foi reduzido para as três espécies e *L. racemosa* diferiu das demais espécies, mostrando maior valor de aporte anual (10,5±3,15 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) (Figura 8). O aporte de P está ligado à concentração do elemento e seu menor valor para as espécies estudadas pode estar relacionado com o processo de retranslocação.

Na Figura 22 encontra-se o padrão de variação do aporte de P, onde *L. racemosa* e *A. germinans* mostraram aumento a partir do mês de Julho. Já para *R. mangle* este aumento foi verificado a partir do mês de Agosto.

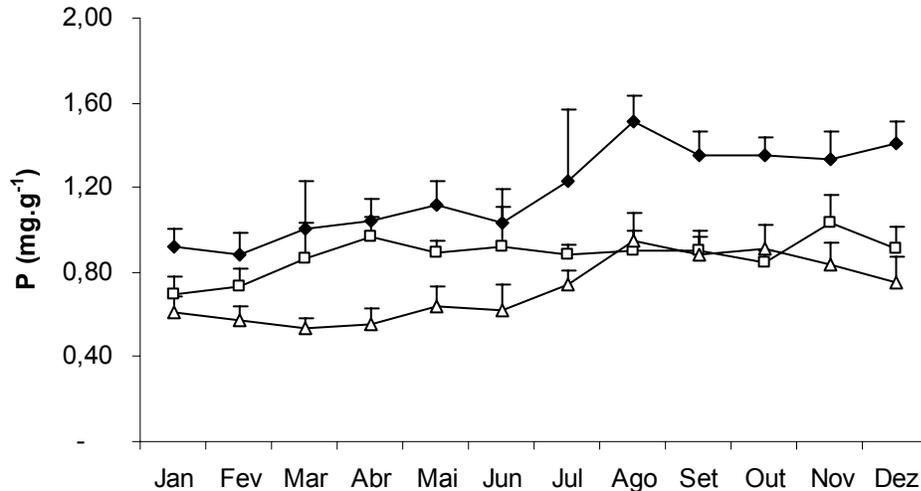


Figura 21: Variação mensal da concentração do elemento P nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

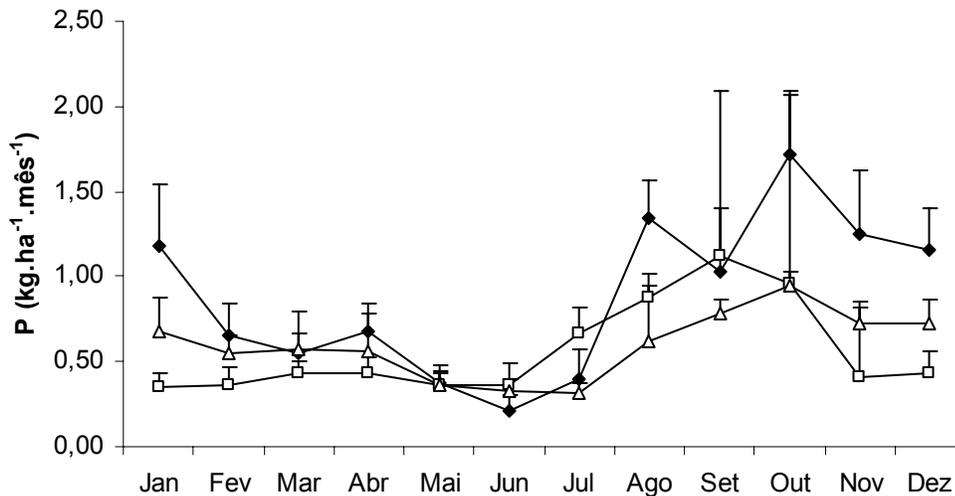


Figura 22: Variação mensal do aporte de P de folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

#### 4.1.8 Razões C/N, N/P e C/P

Para a razão C/N, as três espécies apresentaram diferenças significativas. A razão C/N é importante na caracterização do valor nutritivo do organismo, quanto menor a relação C/N, maior seu valor nutritivo. Além disso, a razão C/N também é fundamental em determinar a velocidade com que o material foliar será decomposto (Panitz, 1986). As plantas com razão C/N alta sofrem decomposição mais lenta. Assim, *A. germinans* apresentou menor razão C/N comparada às demais espécies. Matos (2007) estudando a decomposição de folhas de serapilheira para as mesmas espécies deste estudo e nos mesmos sítios onde se encontravam os coletores de serapilheira verificou que *A. germinans* apresentou maior coeficiente de decomposição ( $k=0,0045$ ). Assim, pode-se confirmar que a razão C/N é importante para se avaliar a degradabilidade do material. A maior razão C/N foi observada para *R. mangle* (74), uma vez que esta espécie apresentou menor concentração de N, e para esta mesma espécie Matos (2007) encontrou menor coeficiente de decomposição ( $k=0,0027$ ). Almeida (2001) observou menor valor para a razão C/N quando comparado a este estudo (62), para folhas de serapilheira de *R. mangle*. A variação mensal da razão C/N encontra-se na Figura 23, onde *R. mangle* mostrou maior razão C/N de Janeiro a Abril e após este período, verificou-se uma diminuição destes valores.

*R. mangle* também apresentou maiores valores das razões N/P (10) e C/P (695), visto que esta espécie exibiu menor concentração de P. Para esta mesma espécie Almeida (2001) encontrou valores de 19 para razão N/P e de 1190 para razão C/P. O padrão de variação das razões N/P e C/P estão nas Figuras 24 e 25.

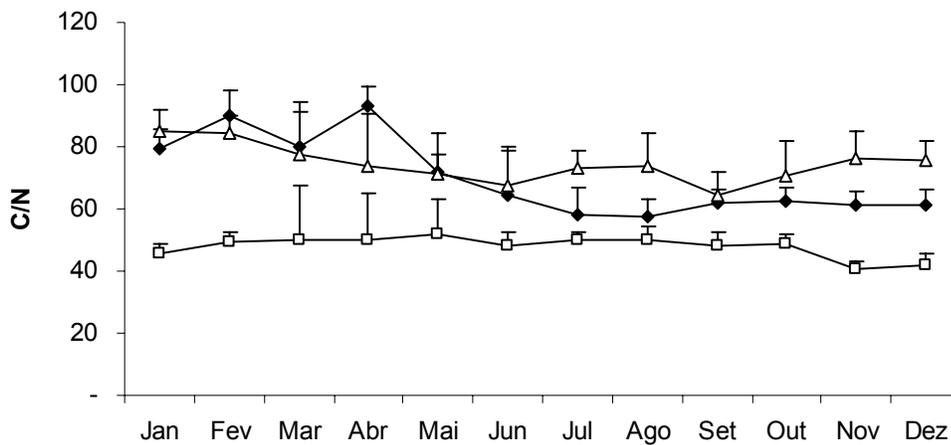


Figura 23: Variação mensal da razão C/N nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

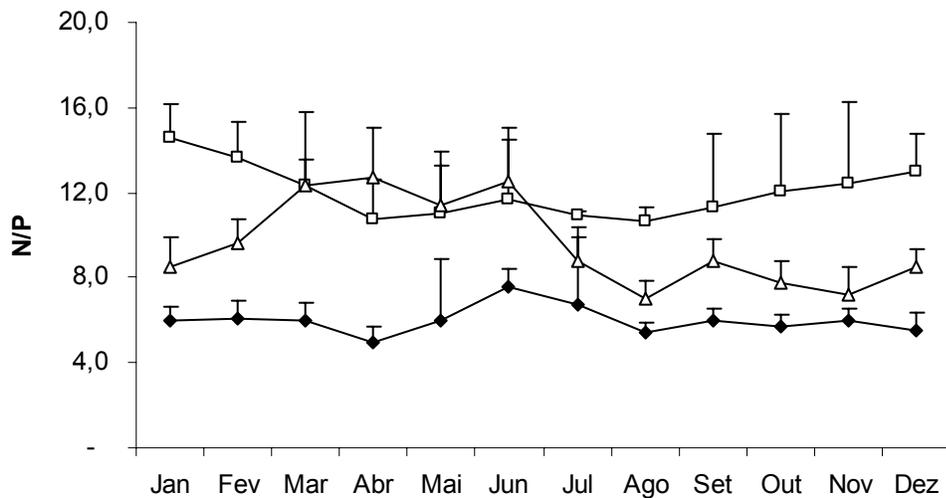


Figura 24: Variação mensal da razão N/P nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

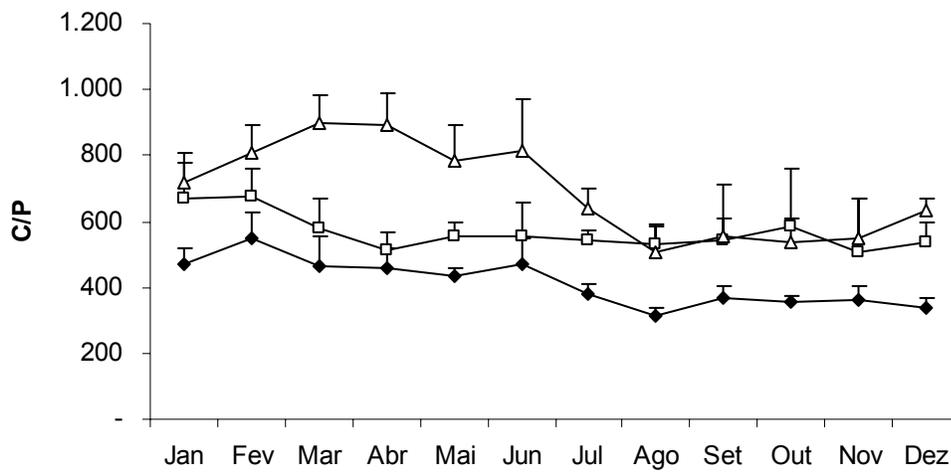


Figura 25: Variação mensal da razão C/P nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

Tabela VI: Concentração de nutrientes ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) da fração folhas adultas e serapilheira de diferentes manguezais

Espécies	Ca	K	Mg	Na	Local	Autores
	$\text{mg.g}^{-1}$					
<b><i>L. racemosa</i></b>						
Folhas Adultas	2,40	13,5	7,10	12,0	manguezais do SE do Brasil	Lacerda <i>et al.</i> , 1986 a Cuzzuol & Campos, 2001
	5,10	3,30	3,80	-	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Bernini, 2006
	8,80	7,28	4,30	-	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Leitão, 2004
	12,6	6,24	3,92	-	manguezal da Baía de Aratu (BA)	Bernini, 2003
	3,00	4,36	1,8	9,14	manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (RJ)	<b>este estudo</b>
Serapilheira	9,40	5,63	4,09	3,21	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
	5,82	1,80	3,26	5,15	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986
	9,10	-	-	-	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988
<b><i>A. germinans</i></b>						
Folhas Adultas	3,20	11,0	6,40	-	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Cuzzuol & Campos, 2001
	3,28	14,7	10,3	-	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Bernini, 2006
	1,27	6,99	4,78	7,6	manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (RJ)	Bernini, 2003
Serapilheira	4,15	7,66	6,02	7,66	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
<b><i>A. schaueriana</i></b>						
Folhas Adultas	1,30	15,8	7,60	22,9	manguezais do SE do Brasil	Lacerda <i>et al.</i> , 1986 a
Serapilheira	4,44	6,65	8,72	9,08	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986
	3,50	-	-	-	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988
<b><i>R. mangle</i></b>						
Folhas Adultas	3,40	13,8	8,50	14,5	manguezais do SE do Brasil	Lacerda <i>et al.</i> , 1986 a Cuzzuol & Campos, 2001
	6,10	3,40	5,10	-	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Bernini, 2006
	9,48	11,7	4,53	-	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Bernini, 2003
	5,54	4,48	1,98	5,81	manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (RJ)	<b>este estudo</b>
Serapilheira	9,03	3,73	4,99	8,17	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
	4,47	3,36	4,15	6,28	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986
	2,50	-	-	-	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988
	18,1	4,16	5,48	16,2	manguezal do canal da Passagem (ES)	Almeida, 2001

Tabela VII: Concentração P, C e N (mg.g<sup>-1</sup>) da fração folhas adultas e serapilheira de diferentes manguezais

Espécies	N	C mg.g <sup>-1</sup>	P	C/N	N/P	Local	Autores
<b><i>L. racemosa</i></b>							
Folhas Adultas	10,7	-	1,30	-	8,23	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Cuzzuol & Campos, 2001
	14,0	-	1,35	-	10,4	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Bernini, 2006
	13,0	-	1,09	-	11,9	manguezal da Baía de Aratu (BA)	Leitão, 2004
	14,3	421	-	29,4	-	manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (RJ)	Bernini, 2003
Serapilheira	7,10	476	1,18	67,0	6,02	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
	4,70	426	0,46	90,6	10,2	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986
	3,60	428	0,03	119	120	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988
	14,2	397	0,04	28,0	355	manguezal do estuario do rio Shark (Flórida)	Pelegrí <i>et al.</i> , 1997
<b><i>A. germinans</i></b>							
Folhas Adultas	2,26	-	0,19	-	11,9	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Cuzzuol & Campos, 2001
	18,6	-	1,47	-	12,7	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Bernini, 2006
	17,6	432	-	24,5	-	manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (RJ)	Bernini, 2003
Serapilheira	10,5	492	0,88	47,9	11,9	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
	10,8	383	-	35,5		manguezal do estuario do rio Shark (Flórida)	Pelegrí <i>et al.</i> , 1997
<b><i>A. schaueriana</i></b>							
Serapilheira	4,50	430	0,37	95,6	12,2	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986
	3,20	410,0	0,04	128	80	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988
<b><i>R. mangle</i></b>							
Folhas Adultas	12,5	-	0,08	-	156	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Cuzzuol & Campos, 2001
	12,5	-	0,98	-	12,8	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Bernini, 2006
	12,3	438	-	35,6		manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (RJ)	Bernini, 2003
Serapilheira	6,70	480	0,72	74,4	9,31	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
	3,60	432	0,26		13,8	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986
	3,20	418	0,02	131	160	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988
	10,9	351	0,06	35,3	182	manguezal do estuario do rio Shark (Flórida)	Pelegrí <i>et al.</i> , 1997
	8,40	-	1,76	-	4,77	manguezal do estuário Potengi (RN)	Ramos e Silva <i>et al.</i> , 2007
	8,10	500	0,42	61,7	19,3	manguezal do canal da Passagem (ES)	Almeida, 2001

## 4.2. Concentração e Aporte de Micronutrientes

No manguezal, a principal fonte de metais pesados é o intemperismo de rochas e o aporte das bacias de drenagem adjacentes (Lacerda *et al.*, 1986 a). As plantas halófitas por necessitarem absorver grandes quantidades de sais para manter um equilíbrio osmótico, podem acumular grandes quantidades de íons, incluindo elementos tóxicos, como metais pesados (Panitz, 1986). As concentrações de metais em plantas de manguezal ainda são pouco estudadas, acreditando-se, muitas vezes, que estes vegetais podem representar importantes bioindicadores para o estudo de impacto ambiental por metais nesses ecossistemas (McFarlane *et al.*, 2003).

A concentração média anual dos microelementos na fração folhas de serapilheira seguiu a seguinte ordem para *L. racemosa* e *A. germinans*: Fe>Mn>Al>Zn>Cu e para *R. mangle* Mn>Fe>Al>Zn>Cu. As concentrações anuais dos microelementos são mostradas nas Figuras 26 e 27.

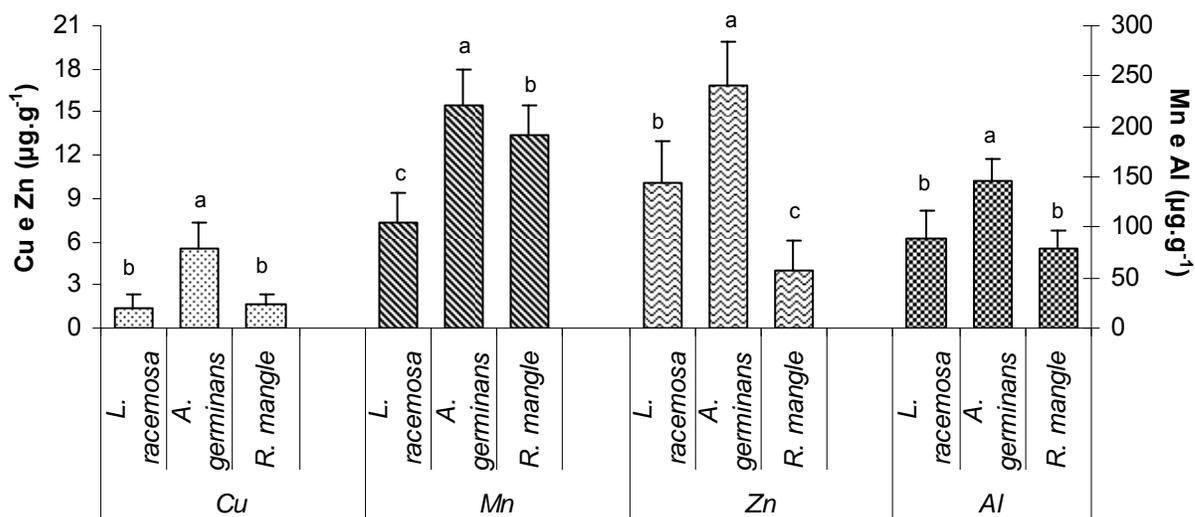


Figura 26: Concentração média anual para os microelementos determinados nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA *one-way*) entre as espécies estudadas.

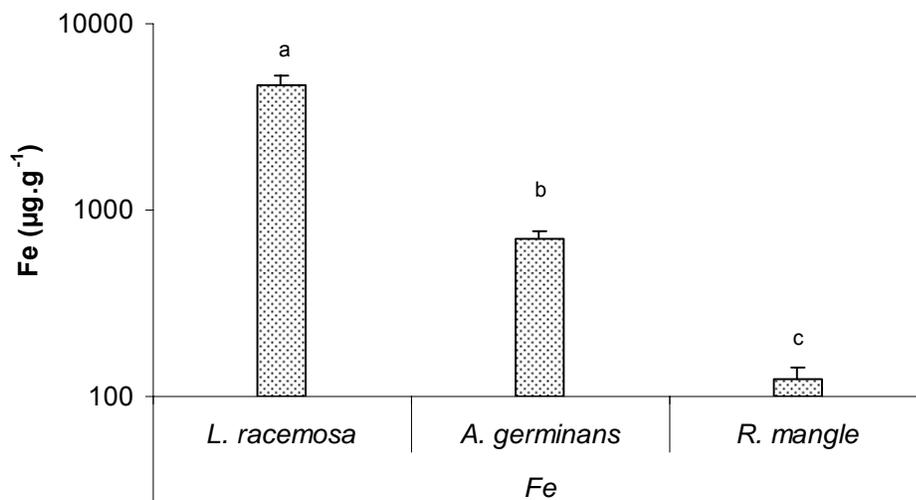


Figura 27: Concentração média anual para o elemento Fe determinado nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA *one-way*) entre as espécies estudadas.

O aporte de micronutrientes da serapilheira para o sedimento seguiu a seguinte ordem para *L. racemosa* e *A. germinans*: Fe>Mn>Al>Zn>Cu e Mn>Fe>Al>Zn>Cu para a espécie *R. mangle* (Figuras 28 e Apêndice 1). As três espécies diferiram significativamente para o aporte de alguns micronutrientes, porém não foi verificada diferença para o elemento Al.

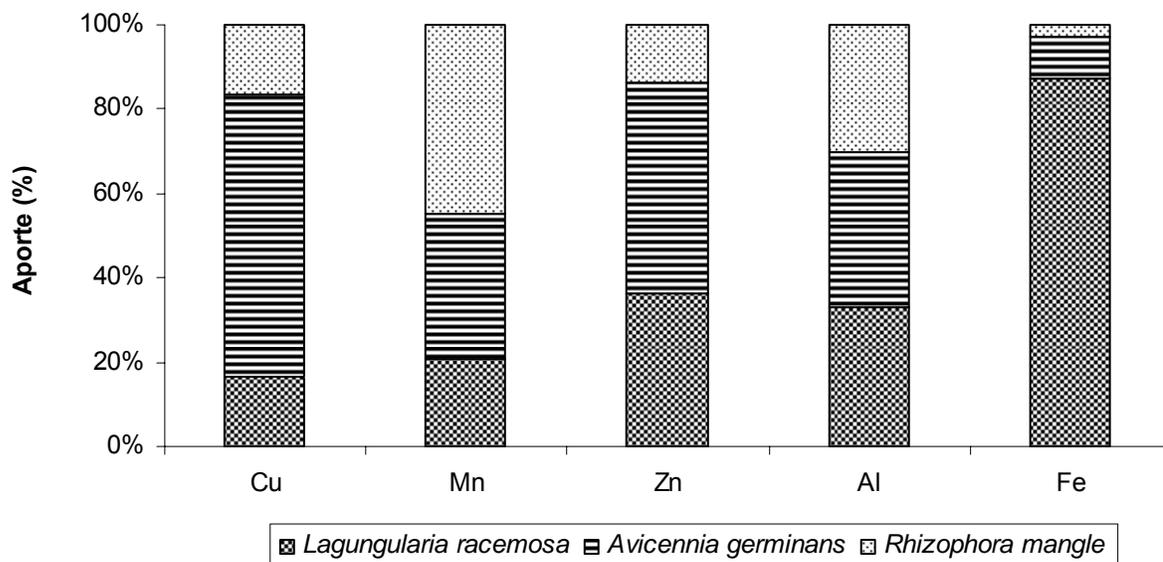


Figura 28: Aporte anual de micronutrientes de folhas de serapilheira do manguezal o estuário do rio Paraíba do Sul.

#### 4.2.1. Cobre

Segundo Vestergaard *apud* Lacerda *et al.* (1986 a), o cobre ocorre fortemente ligado à matéria orgânica dos sedimentos costeiros, estando, dessa forma, menos disponível para a absorção das plantas. As espécies *L. racemosa* e *R. mangle* não diferiram significativamente para a concentração anual do elemento Cu ( $1,35 \pm 1,03$  e  $1,64 \pm 0,68 \mu\text{g.g}^{-1}$  respectivamente). *A. germinans* diferiu das demais apresentando maior valor ( $5,53 \pm 1,77 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Figura 27). A Figura 29 mostra a variação do elemento Cu para as três espécies. *L. racemosa* e *R. mangle* exibiram um pico no mês de Julho e *A. germinans* apresentou aumento da concentração de Cu a partir do mês de Junho. Panitz (1986) encontrou maior concentração para a espécie *L. racemosa* ( $3,93 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), seguindo-se de *A. schaueriana* ( $2,12 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e *R. mangle* ( $1,24 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Tabela VIII). Garcia (2005) encontrou uma concentração de  $5,14 \mu\text{g.g}^{-1}$  para folhas adultas de *A. schaueriana* no manguezal da região de São Francisco do Conde e Madre de Deus-BA. Este acúmulo de Cu em plantas do gênero *Avicennia* também foi verificado por Bernini (2006) para *A. germinans* no manguezal do estuário do rio São Mateus-ES ( $3,81 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e por Cuzzuol & Campos (2001) no manguezal do estuário do rio Mucuri-BA ( $3,80 \mu\text{g.g}^{-1}$ ).

A concentração de Cu para *R. mangle* neste estudo ( $1,64 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) esteve próxima a encontrada por Almeida (2001) para folhas de serapilheira da mesma espécie no manguezal do Canal da Passagem-ES ( $1,78 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Tabela VIII). As concentrações de Cu para as três espécies de mangue foram menores que as encontradas por Lacerda *et al.* (1986 a) para folhas verdes adultas. Leitão (2004) verificou concentrações próximas às descritas por Lacerda *et al.* (1986 a) para as espécies *R. mangle* e *L. racemosa*.

McFarlane *et al.* (2003) demonstraram em estudo com a espécie *A. marina* em manguezal da Austrália que a concentração de Cu apresentou uma acumulação nos tecidos foliares de folhas adultas. Os autores verificaram ainda em *A. marina*, mecanismos de exclusão ou saturação em condições de alta concentração do metal pesado no sedimento. Para folhas de serapilheira, McFarlane *et al.* (2003) discutem que a menor concentração de Cu pode ser devido a remobilização de Cu para outras

partes da planta durante a senescência foliar. A menor concentração de Cu em folhas de serapilheira pode ser resultado da decomposição das folhas ou lixiviação de íons mais solúveis, como o Cu.

As três espécies apresentaram baixos valores de aporte anual para o elemento Cu, porém as espécies *L. racemosa* e *R. mangle* não diferiram significativamente entre si (Figura 28). O padrão de variação mensal do aporte do elemento Cu mostra que *R. mangle* exibiu valor de aporte mais alto nos meses de Junho a Agosto e de Outubro a Dezembro. *A. germinans* e *L. racemosa* apresentaram baixo aporte de Cu no mês de Maio e Junho, e *A. germinans* ainda apresentou um pico no mês de Setembro (Figura 30).

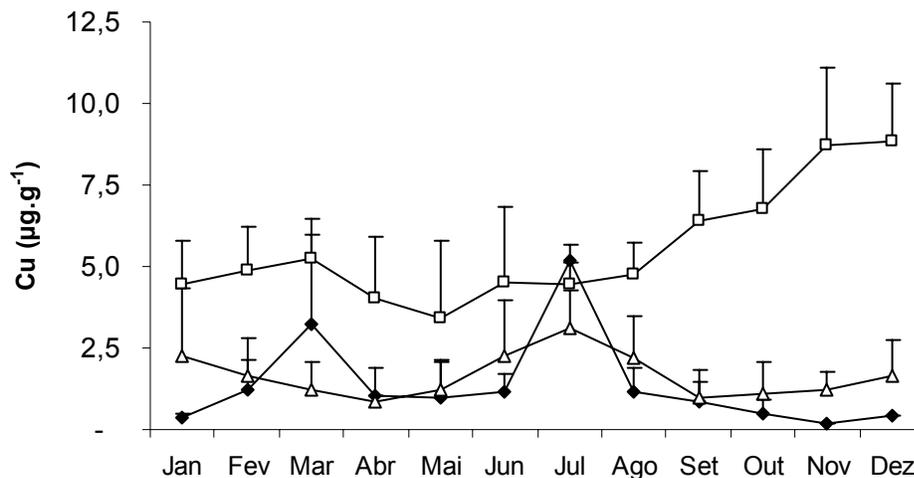


Figura 29: Variação mensal da concentração do elemento Cu nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

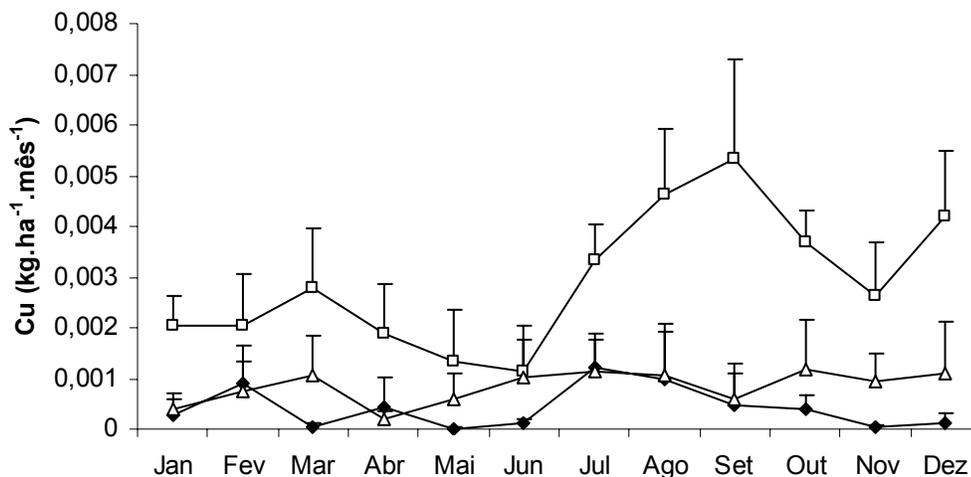


Figura 30: Variação mensal do aporte de Cu da serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

#### 4.2.2. Manganês

O manganês na planta é incorporado em compostos orgânicos e em complexos tendo ainda importância na formação das enzimas. Sua função na planta é no metabolismo basal, principalmente na fotossíntese e no transporte do fosfato, atuando no metabolismo do nitrogênio. Participa em sinergismo com o Mg e Zn, acumulando-se nas folhas e apresenta pequena capacidade de transporte (Larcher, 2000). De acordo com Lacerda *et al.* (1999), muitos estudos têm demonstrado que o fator de correlação (razão entre a concentração na folha e a concentração no sedimento) é menor que 1.0 para a maioria dos metais traço, e somente o Mn apresenta fator de correlação maior que 1.0. De todos os metais traço, o Mn geralmente mostra uma correlação significativa entre as concentrações da folha e sedimento. No manguezal, os metais pesados podem precipitar na forma de sulfetos, os quais são estáveis sob as condições anóxicas do sedimento e não disponíveis às plantas. Os elementos Fe e Mn solúveis, precipitados na forma de óxidos, formam placas de ferro na superfície das raízes (Lacerda *et al.* 1993). Estas características explicam as baixas concentrações de metais pesados no tecido foliar das espécies de mangue. O elemento

Mn não forma sulfetos estáveis, sendo solúvel nas condições anóxicas do sedimento do manguezal, e, portanto mais biodisponível (Aragon *et al.* 1986, Lacerda *et al.* 1988).

As três espécies diferiram significativamente ( $p \leq 0,05$ ) para a concentração anual do elemento Mn. *A. germinans* se destacou pela maior concentração ( $222 \pm 34,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), enquanto que *L. racemosa* exibiu menor concentração anual ( $104 \pm 29,4 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Figura 27) Para o Mn, as três espécies não mostraram relevantes variações na dinâmica mensal do elemento, porém verificou-se que *L. racemosa* apresentou menor concentração durante os meses de estudo (Figura 31). Panitz (1986) encontrou maior concentração de Mn para folhas de serapilheira de *L. racemosa* ( $270 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e menor para *A. schaueriana* ( $194 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Lacerda *et al.* (1986 a) verificaram maior concentração para *R. mangle* ( $155 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), seguida de *A. schaueriana* ( $110 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e *L. racemosa* ( $49 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). O mesmo foi observado por Bernini (2006) e Cazzuol & Campos (2001) (Tabela VIII). Almeida (2001) encontrou para folhas de serapilheira de *R. mangle* concentração de  $139 \mu\text{g.g}^{-1}$ , menor que a verificada neste estudo para a mesma espécie ( $192 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Silva *et al.* (1998) estudando a dinâmica de metais pesados através da serapilheira e decomposição em *R. mangle* na Baía de Sepetiba destacou concentração de Mn de  $230 \mu\text{g.g}^{-1}$  para a fração folhas.

As três espécies também diferiram em relação ao aporte anual, e *R. mangle* apresentou maior aporte de Mn ( $1,97 \pm 0,14 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) (Figura 29). Quanto ao padrão de variação do aporte de Mn, *L. racemosa* apresentou um aumento nos valores de aporte a partir do mês de Agosto. Já para *A. germinans* os maiores valores foram observados de Julho a Outubro. *R. mangle* apresentou baixos valores de aporte nos meses de Maio a Julho (Figura 32).

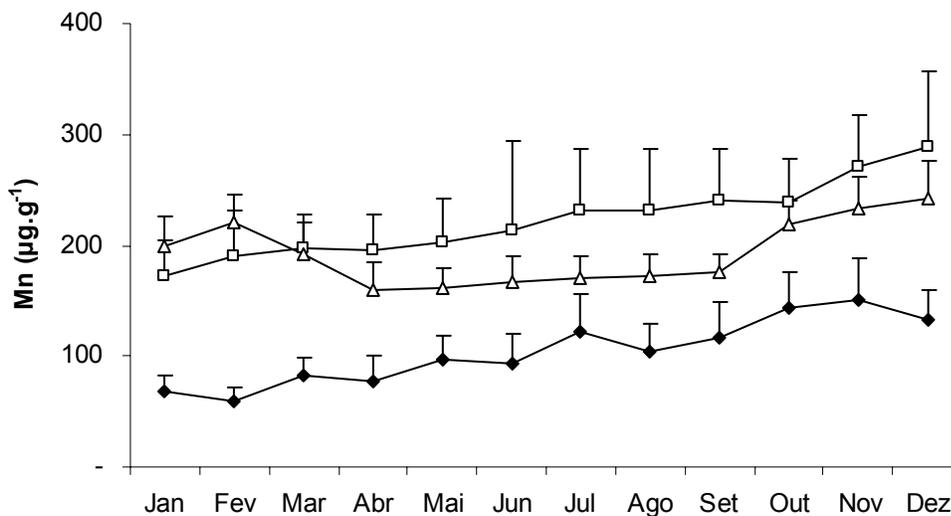


Figura 31: Variação mensal da concentração do elemento Mn nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

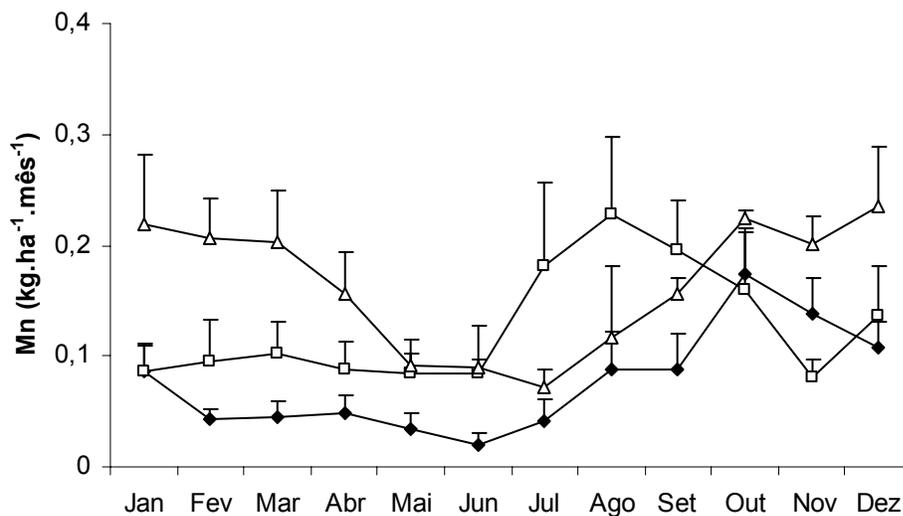


Figura 32: Variação mensal do aporte de Mn das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

### 4.2.3. Zinco

O zinco, um microelemento essencial para as plantas, é móvel e tende ser acumulado nos tecidos das plantas de mangue. Como um nutriente, sua assimilação e alocação para órgãos da planta assim como o tecido foliar fotossintético é alta e ativa. Os metais pesados, incluindo o zinco, em concentrações acima das necessidades metabólicas das plantas podem induzir efeitos tóxicos a nível celular devido à alteração da permeabilidade da membrana plasmática, ação inibitória sobre as enzimas, especialmente aquelas envolvidas na fotossíntese e a indução de processos antioxidativos (MacFarlane & Burchett, 1999). Quanto à concentração anual do elemento Zn, as três espécies diferiram significativamente e maior concentração foi encontrada para *A. germinans* ( $16,9 \pm 3,05 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e *R. mangle* mostrou a menor concentração anual ( $4,06 \pm 2,03 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Figura 27). Em relação à dinâmica mensal do microelemento Zn, *L. racemosa* e *A. germinans* apresentaram concentração superior comparado à espécie *R. mangle* (Figura 33). A maior concentração verificada para *A. germinans* ( $16,9 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), também encontrada por Bernini (2006) em folhas adultas no manguezal do estuário do rio São Mateus-ES ( $16,3 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), Lacerda *et al.* (1986 a) na Baía de Sepetiba-RJ ( $35 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), Panitz (1986) no manguezal de Itacorubi-SC ( $145 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e Garcia (2005) no manguezal da Região de São Francisco e Madre de Deus-BA ( $23,7 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Tabela VIII). Segundo Tanizaki-Fonseca (1993) *apud* Garcia (2005), existe uma tendência do Zn acumular-se na rizosfera do gênero *Avicennia*, provavelmente devido ao ambiente menos redutor, o que aumenta a disponibilidade desse metal. Esse mesmo autor ainda relata que as placas de ferro funcionam como barreiras de translocação e, a partir de uma determinada concentração ( $350 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), o Zn será acumulado fora da raiz sem haver absorção. Um outro fator, que favorece a absorção de Zn, são as baixas concentrações de Ca (Larcher, 2000). Esses autores ainda relatam a toxicidade do Zn relacionada com a diminuição da área foliar seguida de clorose. A menor concentração de Zn foi observada para *R. mangle* ( $4,06 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Esta concentração foi menor que a concentração reportada por Silva (1998) na Baía de Sepetiba ( $5,50 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e Almeida (2001) ( $5,91 \mu\text{g.g}^{-1}$ ).

Para a variação do aporte de Zn, *L. racemosa* e *A. germinans* exibiram valores mais elevados a partir do mês de Julho. Para *R. mangle*, os valores de aporte variaram de 0,001 a 0,007 kg.ha<sup>-1</sup>. mês<sup>-1</sup> (Figura 34).

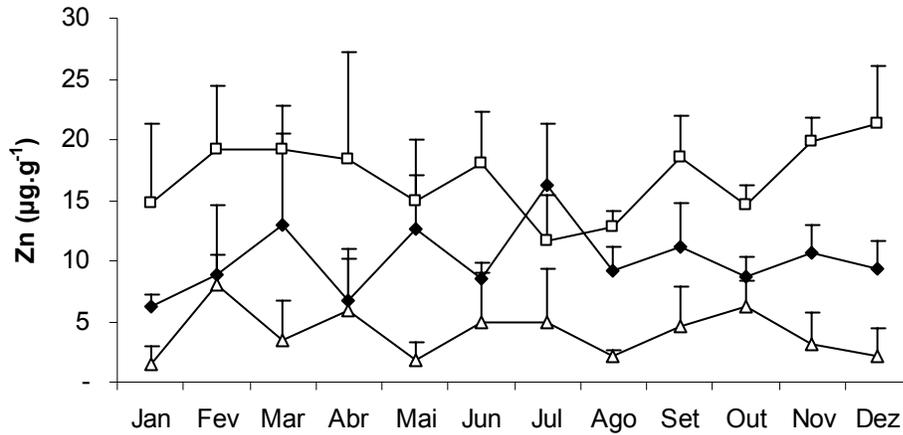


Figura 33: Variação mensal da concentração do elemento Zn nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

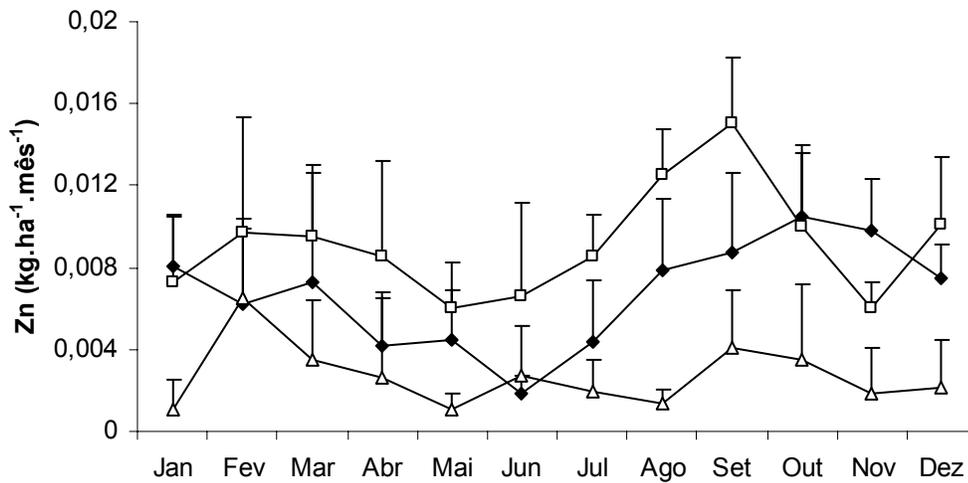


Figura 34: Variação mensal do aporte de Zn das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

#### 4.2.4. Alumínio

*L. racemosa* e *R. mangle* não diferiram significativamente ( $p \leq 0,05$ ) para a concentração anual de Al e *A. germinans* diferiu das demais, apresentando maior concentração anual ( $146 \pm 21,2 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Figura 27). *L. racemosa* apresentou um aumento da concentração de Al a partir de Julho. Neste mesmo mês observou-se um pico para a espécie *R. mangle* (Figura 35). Garcia (2005) verificou para *A. schaueriana* concentração de Al em torno de  $95,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Almeida (2001) encontrou para folhas de serapilheira de *R. mangle* concentração de Al de  $84,9 \mu\text{g.g}^{-1}$ . valor maior que o verificado neste estudo para a mesma espécie ( $78,8 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Em estudo no manguezal do estuário do rio Potengi-RN com a espécie *R. mangle*, Ramos e Silva *et al.* (2006) verificaram concentração de Al em torno de  $30 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Pouco se sabe sobre a função do alumínio nas plantas, como ocorre sua absorção pela raiz, e se existe alguma competição com outros metais. Boyer (1971) *apud* Garcia (2005), cita que a toxicidade do íon  $\text{Al}^{+3}$  é demonstrada em pH inferior a 5, semelhante ao que ocorre com o Fe e Mn. O aporte anual de Al não diferiu entre as espécies. Em relação à variação mensal do aporte de Al, *L. racemosa* apresentou baixos valores de Maio a Julho. *A. germinans* exibiu valores mais elevados a partir de Julho e *R. mangle* os maiores valores foram encontrados de Janeiro a Março e em Outubro (Figura 36).

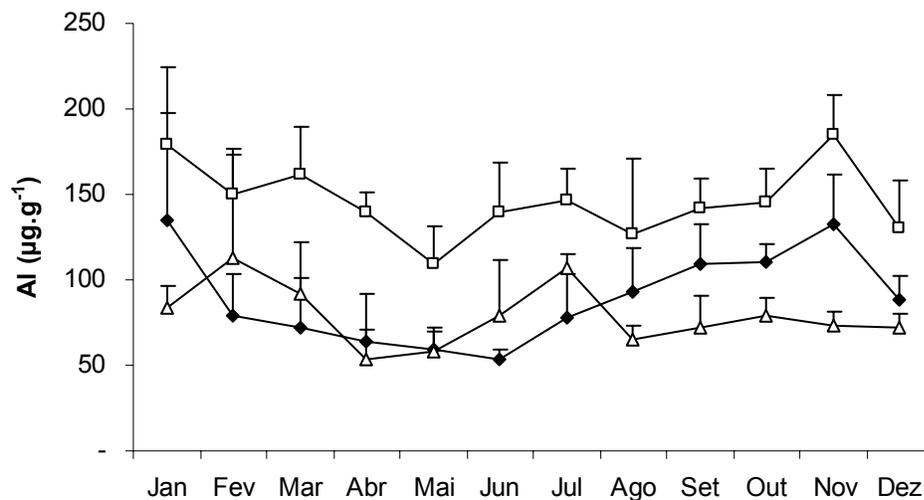


Figura 35: Variação mensal da concentração do elemento Al nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

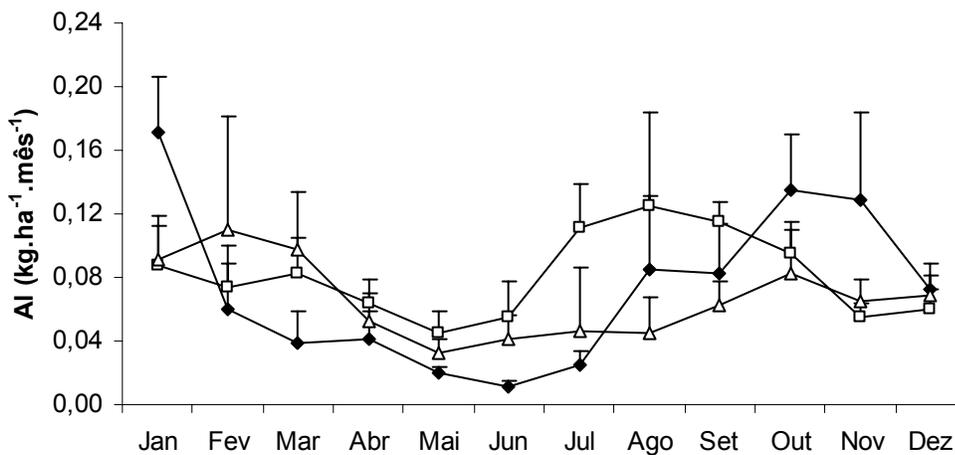


Figura 36: Variação mensal do aporte de Al das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

#### 4.2.5. Ferro

A variabilidade encontrada na concentração de Fe é um reflexo de suas fontes para o sistema de manguezal. O aporte deste elemento manguezais é realizado através das fontes terrestres dependendo das características geológicas e climatológicas das bacias hidrográficas (Lacerda *et al.*, 1986 a). *L. racemosa* se destacou por uma maior concentração anual do elemento Fe comparado às demais espécies ( $4625 \pm 671 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Figura 28). Esta tendência foi verificada em todos os meses de estudo. *R. mangle* exibiu menores concentrações de Fe durante o ano (Figura 37). Esta incorporação preferencial de Fe por *L. racemosa* também foi verificada por Bernini (2006). *Rhizophora* é um gênero sal-excludente enquanto que *Avicennia* e *Laguncularia* são considerados sal-includentes. Lacerda *et al.* (1986 a) demonstraram que o mecanismo de controle de entrada de sal pode afetar a absorção de metais pesados. Dessa forma, o mecanismo de exclusão de sal presente em *Rhizophora mangle* evitaria a entrada de metais pesados como Fe, Zn e Cu, causando menor concentração destes elementos no tecido foliar, como observado neste estudo. Em nenhum outro trabalho foi verificada concentração próxima à encontrada neste estudo para *L. racemosa*. Em relação às outras duas espécies, as concentrações de Fe encontram-se na faixa de concentração abordada na literatura (Tabela VIII). Lacerda *et al.* (1986 a), observaram concentração de  $200 \mu\text{g.g}^{-1}$  de Fe para folhas de *A. schaueriana*,  $166 \mu\text{g.g}^{-1}$  para *R. mangle* e  $219 \mu\text{g.g}^{-1}$  para *L. racemosa*. Schmidt (1988) em estudo da composição química de folhas de serapilheira no manguezal da Cananéia-SP, destacou uma concentração média de ferro de  $94 \mu\text{g.g}^{-1}$  para *R. mangle*,  $278 \mu\text{g.g}^{-1}$  para *L. racemosa* e  $285 \mu\text{g.g}^{-1}$  para *A. schaueriana*. Almeida (2001) observou alta concentração de Fe em *R. mangle* no manguezal do canal da Passagem-ES, em torno de  $300 \mu\text{g.g}^{-1}$ . O autor atribui esta alta concentração à hipótese de um eventual aporte aéreo (aerossol e/ou constituintes atmosféricos locais) que poderia estar refletindo em acúmulo na superfície foliar. Na Baía de Sepetiba, Silva *et al.* (1998) encontraram concentração de  $116 \mu\text{g.g}^{-1}$  de Fe para *R. mangle*.

Para o aporte de Fe, *L. racemosa* exibiu maiores valores comparados às demais espécies. *A. germinans* apresentou valores ligeiramente mais altos a partir do mês de Julho. Para a espécie *R. mangle*, os menores valores encontrados foram entre

os meses de Maio a Julho. Os valores de aporte de *L. racemosa* estão vinculados ao eixo secundário (Figura 38). Para o elemento Fe, somente *L.racemosa* apresentou alto valor de aporte. Isto sugere um mecanismo de translocação ou de eliminação deste elemento via queda de folhas, e também que este elemento pode permanecer em circulação, via processos físicos e biológicos e não armazenado no tecidos perenes e permanentemente nos substratos do mangue (Panitz, 1986).

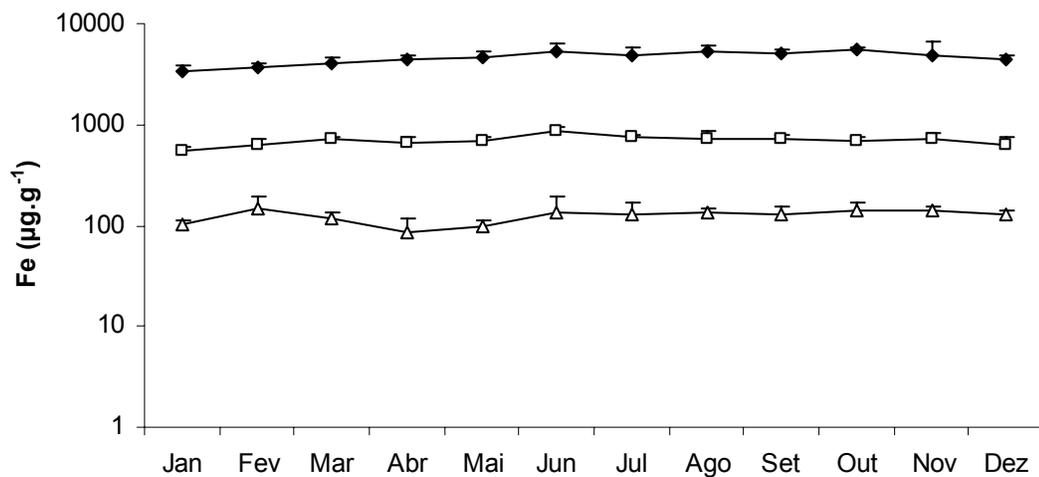


Figura 37: Variação mensal da concentração do elemento Fe nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

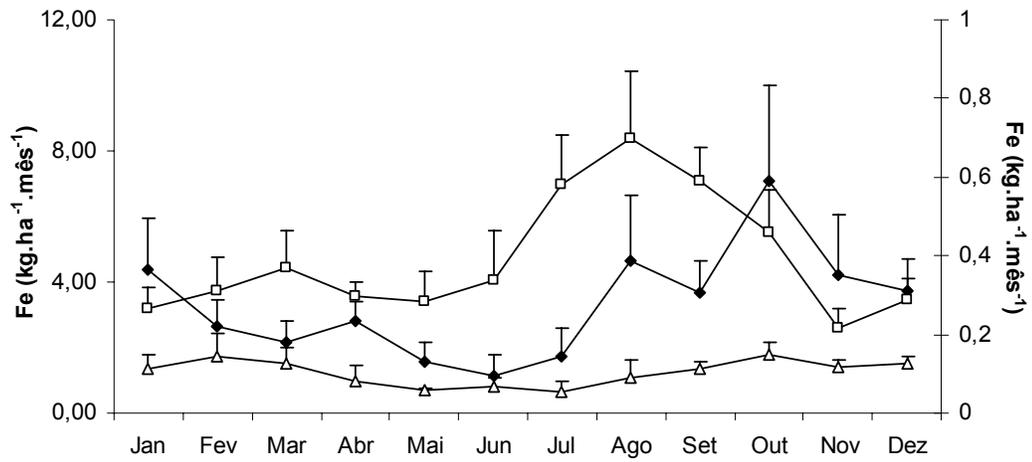


Figura 38: Variação mensal do aporte de Fe das folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

Tabela VIII: Concentração de micronutrientes ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) da fração folhas adultas e serapilheira de diferentes manguezais.

Espécies	Cu	Mn	Zn $\mu\text{g.g}^{-1}$	Al	Fe	Local	Autores
<b><i>L. racemosa</i></b>							
Folhas Adultas	10,0	49,0	26,0	-	219	manguezais do SE do Brasil	Lacerda <i>et al.</i> , 1986
	2,00	98,0	14,0	-	586	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Cuzzuol & Campos, 2001
	3,17	46,7	12,6	-	365	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Bernini, 2006
	10,6	108	10,6	-	154	manguezal da Baía de Aratu (BA)	Leitão, 2004
Serapilheira	1,35	104	10,1	88,6	4625	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
	3,93	270	97,0	-	111	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986
	-	37	-	-	278	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988
<b><i>A. germinans</i></b>							
Folhas Adultas	3,80	218	22,6	-	145	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Cuzzuol & Campos, 2001
	3,81	91	16,3	-	129	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Bernini, 2006
Serapilheira	5,53	222	16,9	146	696	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
<b><i>A. schaueriana</i></b>							
Folhas Adultas	10,0	110	35,0	-	200	manguezais do SE do Brasil	Lacerda <i>et al.</i> , 1986
	11,4	187	23,7	95,8	100	manguezal da região de São Francisco do Conde e Madre de Deus (BA)	Garcia, 2005 **
Serapilheira	2,12	194	145	-	127	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986**
	-	85	-	-	285	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988**
<b><i>R. mangle</i></b>							
Folhas Adultas	9,0	155	19,0	-	166	manguezais do SE do Brasil	Lacerda <i>et al.</i> , 1986
	2,00	860	5,00	-	80,0	manguezal do estuário do rio Mucuri (BA)	Cuzzuol & Campos, 2001
	1,48	193	4,25	-	108	manguezal do estuário do rio São Mateus (ES)	Bernini, 2006
	10,0	188	23,6	-	156	manguezal da Baía de Aratu (BA)	Leitão, 2004
Serapilheira	1,64	192	4,06	78,8	124	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
	1,64	260	69,3	-	100	manguezal do estuário do rio Itacorubi (SP)	Panitz, 1986
	-	152	-	-	94	manguezal de Cananéia (SP)	Schmidt, 1988
	-	230	5,50	-	116	Itacorussá, Baía de Sepetiba (RJ)	Ramos e Silva <i>et al.</i> (1998)
	0,50	-	0,98	30	30,8	manguezal do estuário do rio Potengi (RN)	Ramos e Silva <i>et al.</i> (2006)
	1,78	139	5,91	84,9	300	manguezal do Canal da Passagem (ES)	Almeida (2001)

### 4.3. Composição Isotópica do C e N

A composição isotópica do nitrogênio é utilizada na avaliação da capacidade de fixação de nitrogênio, assim, plantas que fixam nitrogênio atmosférico tem a composição isotópica mais próxima do valor atmosférico de 0 ‰ (Muzuca & Shunula, 2006). A resposta dos ecossistemas de manguezal a mudanças ambientais podem ser examinadas com isótopos estáveis de C e N. Wooler *et al.* (2003 a) analisaram  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  em folhas de *R. mangle*, em Belize, para investigar a reconstrução de passado do ecossistema de manguezal. Foram realizadas determinações em folhas novas, senescentes e recém caídas e os autores observaram que as diferenças isotópicas podem ser relacionadas à disponibilidade de P e N. Neste estudo, as três espécies diferiram nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , sendo que *A. germinans* apresentou maior valor de  $\delta^{13}\text{C}$  e *L. racemosa* apresentou valor mais negativo para  $\delta^{13}\text{C}$  (-29,0 ‰) (Tabela IX). As Figuras 39 e 40 mostram a variação mensal da composição isotópica do C e N. Wooler *et al.* (2003 b) determinaram a variação de isótopos estáveis em *L. racemosa* na Flórida e encontraram valores de -26,7 ‰ para  $\delta^{13}\text{C}$ , enquanto que Wooler *et al.* (2003 a) observaram para *R. mangle* -27,8 ‰, valor maior que o encontrado neste estudo para a mesma espécie (Tabela X). De acordo com Wooler *et al.* (2003 b), a variação na composição isotópica em plantas é amplamente determinada pelas formas fotossintéticas das plantas. Folhas de *L. racemosa* apresentaram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que indicam que a planta utiliza fotossíntese do tipo C3. A variabilidade no  $\delta^{13}\text{C}$  exibida pelas plantas C3 é primeiramente determinada por variações na concentração de  $\text{CO}_2$  do espaço interno da folha e pela condutância dos estômatos. Um número de fatores ambientais pode influenciar a condutância, incluindo a salinidade, umidade e temperatura do solo.

Lacerda *et al.* (1986 b) estudando a composição isotópica do carbono em componentes do ecossistema de manguezal de rio Itingussu, Baía de Sepetiba-RJ, encontraram para *A. schaueriana* valor de -25,2 ‰ para  $\delta^{13}\text{C}$ ; para *R. mangle* -27,6 ‰ e para *L. racemosa* -27,4 ‰. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  encontrados por Lacerda *et al.* (1986 b) foram maiores que os encontrados neste estudo para as três espécies. Lacerda *et al.* (1991) em estudo de fontes alimentares para o caranguejo do mangue *Aratus pisonii*, na floresta experimental de Itacurussá, Baía de Sepetiba-RJ, verificaram para folhas

das espécies de mangue valores próximos ao encontrados por Lacerda *et al.* (1986 b). A Tabela X mostra os valores de composição isotópica do C e N encontrados por Santos (2004) no estuário do rio Paraíba do Sul.

Para a composição isotópica do N, o maior valor foi encontrado para *A. germinans* (7,18 ‰) e o menor para *R. mangle* (4,46 ‰) (Tabela IX). Wooler *et al.* (2003 b) observaram valores de  $\delta^{15}\text{N}$  para as espécies *L. racemosa*, *A. germinans* e *R. mangle*, em Belize de 11,4 ‰; 20,2 ‰ e 9,10 ‰ respectivamente. Wooler *et al* (2003 a) encontraram para folhas senescentes de *R. mangle* valor de  $\delta^{15}\text{N}$  em torno de -10,0 ‰. De acordo com estes mesmos autores não houve alteração no  $\delta^{15}\text{N}$  nas folhas investigadas (folhas novas, senescentes e recém caídas), apesar de ter ocorrido um decréscimo de N (%) nas folhas durante a senescência. A ausência de mudanças isotópicas significantes sugere que as árvores reabsorveram uma fração isotopicamente representativa de elementos importantes para os processos bioquímicos dentro das folhas. A redução do teor de N pode ser resultado da retranslocação.

Tabela IX: Valores médios anuais da composição isotópica do C e N (‰) da fração folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. (Valores em negrito indicam a média e valores abaixo indicam o desvio padrão). Letras diferentes indicam diferenças significantes entres as espécies ( $p \leq 0,05$ , ANOVA one-way).

Espécies	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
	‰	
<i>Laguncularia racemosa</i>	<b>-29,0</b> c 0,37	<b>4,95</b> b 0,25
<i>Avicennia germinans</i>	<b>-27,0</b> a 0,30	<b>7,18</b> a 0,16
<i>Rhizophora mangle</i>	<b>-28,5</b> b 0,29	<b>4,46</b> c 0,51

Tabela X: Valores médios da composição isotópica do C e N (‰) da fração folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul encontrados por Santos (2004). (Valores em negrito indicam a média e valores abaixo indicam o desvio padrão).

Espécies	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
	‰	
<i>Laguncularia racemosa</i>	<b>-28,0</b> 2,0	<b>8,5</b> 5,0
<i>Avicennia germinans</i>	<b>-27,1</b> 1,70	<b>8,24</b> 0,50
<i>Rhizophora mangle</i>	<b>-28,6</b> 3,0	<b>7,43</b> 2,0

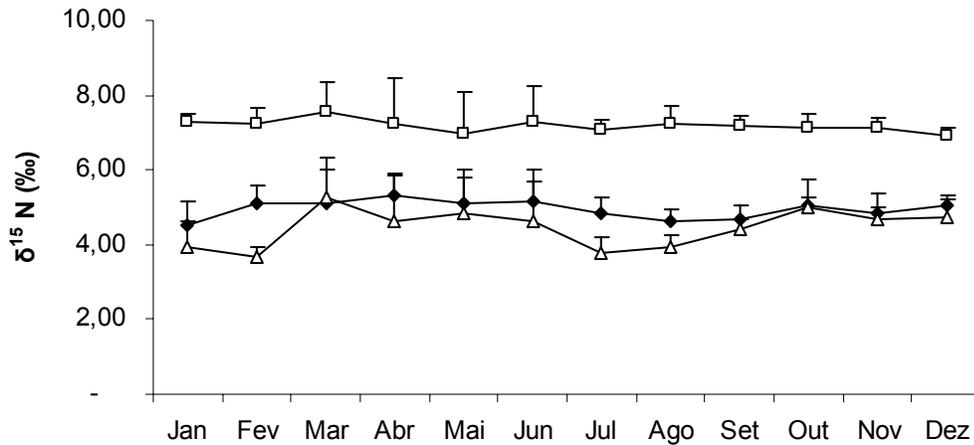


Figura 39: Variação mensal da composição isotópica do N nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (◆ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e △ para *R. mangle*).

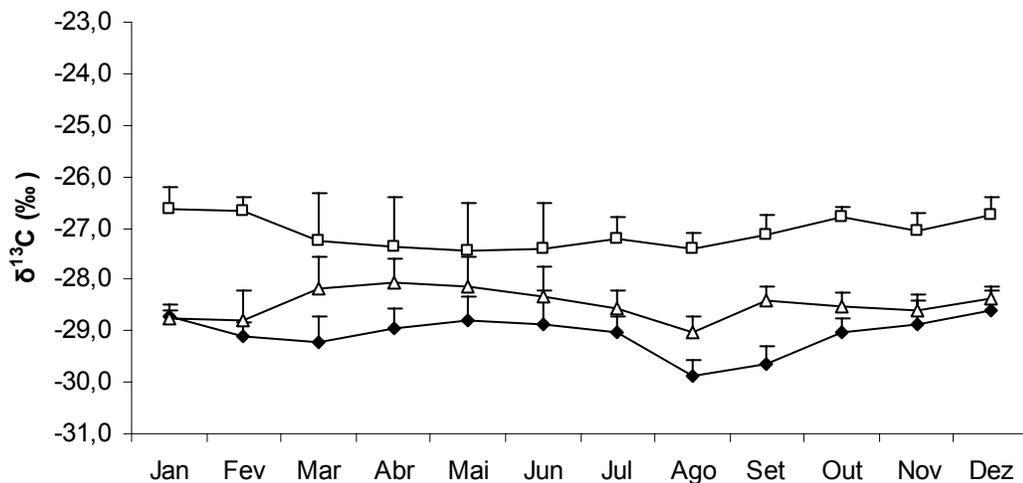


Figura 40: Variação mensal da composição isotópica do C nas folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul (♦ para *L. racemosa*; □ para *A. germinans* e Δ para *R. mangle*).

Tabela XI: Composição isotópica do carbono e nitrogênio em folhas de diferentes manguezais.

Espécies	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Local	Autores
<b><i>L. racemosa</i></b>	-27,4	-	manguezal do rio Itingussu, Baía de Sepetiba (RJ)	Lacerda <i>et al.</i> (1991)
	-27,4	-	Itacurussá, Baía de Sepetiba (RJ)	Lacerda <i>et al.</i> (1986)
	-26,7	11,4	Flórida (EUA)	Wooler <i>et al.</i> (2003 b)
	-29,0	4,95	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
<b>A. schaueriana</b>	-25,2	-	manguezal do rio Itingussu, Baía de Sepetiba (RJ)	Lacerda <i>et al.</i> (1991)
	-25,1	-	Itacurussá, Baía de Sepetiba (RJ)	Lacerda <i>et al.</i> (1986)
<b>A. germinans</b>	-27,3	20,2	Flórida (EUA)	Wooler <i>et al.</i> (2003 b)
	-27,0	7,18	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>
<b><i>R. mangle</i></b>	-27,6	-	manguezal do rio Itingussu, Baía de Sepetiba (RJ)	Lacerda <i>et al.</i> (1991)
	-27,6	-	Itacurussá, Baía de Sepetiba (RJ)	Lacerda <i>et al.</i> (1986)
	-27,2	9,1	Flórida (EUA)	Wooler <i>et al.</i> (2003 b)
	-25,0	-10,0	Belize (América Central)	Wooler <i>et al.</i> (2003 a)
	-28,5	4,46	<b>este estudo</b>	<b>este estudo</b>

## 5. CONCLUSÃO

- Para macroelementos as espécies apresentaram diferenças nas suas concentrações, sendo característica da fisiologia de cada espécie. Os macroelementos Ca, K, Mg, Na podem ser agrupados uma vez que apresentaram uma dinâmica similar para as três espécies no ano de estudo.
- O N e P provavelmente foram retranslocados para folhas novas devido à sua baixa concentração nas folhas senescentes.
- Para o aporte de macroelementos a espécie *R. mangle* apresentou maior contribuição dos elementos no ano de estudo. Como foi por Matos (2007) em estudo realizado nos mesmos sítios de amostragem deste trabalho, esta espécie apresenta uma decomposição mais lenta, o que dificulta a liberação destes elementos para o estuário.
- *A. germinans* apresentou menor contribuição de macroelementos para o estuário, no entanto, esta espécie mostrou maior velocidade de decomposição. Dessa forma conclui-se que *A. germinans* tem contribuído mais na ciclagem dos macroelementos para o sedimento, comparada às demais espécies.
- Neste estudo, para os microelementos, com exceção do elemento Fe, a espécie *A. germinans* apresentou maiores concentrações quando comparadas às demais espécies. Devido à sua maior velocidade de decomposição, é possível sugerir que esta espécie tem grande contribuição para a ciclagem de microelementos no manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul.
- Para o elemento ferro, *L. racemosa* apresentou maior concentração e aporte. Isto sugere um mecanismo de translocação ou de eliminação deste elemento via queda de folhas.
- Para o estudo nutricional da serapilheira é desejável que um maior tempo (maior que um ano) de amostragem para analisar o efeito sazonal na concentração e aporte de nutrientes.
- O estudo da composição isotópica do C e do N em folhas de serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul contribuiu para os estudos biogeoquímicos sobre a fertilidade costeira induzida ou subsidiada pelo aporte de matéria orgânica de origem dos manguezais.

## 6. REFERÊNCIAS

AERTS, R. (1996). Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there patterns? *Journal of Ecology*. 84:597-608.

ALMEIDA, R., (2001). Manguezal do canal da passagem, Vitória, Espírito Santo: conteúdo transferência de nutrientes na fração folhas da serrapilheira. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

ALONGI, D.M., BOTO, K.G., ROBERTSON, A.I., (1992). Nitrogen and phosphorus cycles. In: Robertson, A.I., ALONGI, D.M. (eds). *Tropical mangrove ecosystems*. American Geophysical Society. Washington D.C. USA, pp 231-238.

ALONGI, M.D. 1997. *Coastal ecosystem processes*. CRC Press, Boca Raton, E.U.A.

ARAGON, G.T., PIRES, V.S., LACERDA, L.D. & PATCHINEELAM, S.R. (1986). Distribuição espacial de nutrientes e metais pesados em sedimentos e águas superficiais em um ecossistema de manguezal. *Acta Limnologica Brasiliensia* 1:365-385.

BERNINI, E. (2003). Aspectos Estruturais e Nutricionais de um Bosque de Manguezal do Rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense.

BERNINI, E; SILVA, M.A.B.; 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: 689-699.

COSTA, G. (1994) *Caracterização histórica, geomorfológica e hidráulica do estuário do rio Paraíba do Sul*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, RJ, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 97p.

CUZZUOL, R.F. & CAMPOS, A. (2001). Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 24.

DELITTI, W.B.C., (1995). Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para análise funcional de ecossistemas terrestres. *Oecologia Brasiliensis*, 1: 469-486.

DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Tábuas das marés. Disponível em

<<http://www.dhn.mar.mil.br/~dhn/servicos.htm>> Acessado em 01/06/01.

DITTMAR, T., LARA, R.J. (2006). Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements. *Marine Ecology Progress*, 213, 67-77.

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. (1993). *Projeto Paraíba do Sul. Relatório Principal da Fase B*. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 188p.

ELLIS, W.; BOWLES, J.W.; ERICKSON, A.A.; STAFFORD, N.; BELL, S.S.; THOMAS M. (2006). Alteration of the chemical composition of mangrove (*Laguncularia racemosa*) leaf litter fall by freeze damage. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 68:363-371.

FITTER, A.H., HAY, R.K.M. (1987). *Environmental physiology of plants*. 2.ed. Academic Press Oxford, 423p.

GARCIA, K. S. (2005). Estudos biogeoquímicos em folhas de *Avicennia schaueriana* STAPF & LEECHMAN em zonas de manguezal da região de São Francisco do Conde e madre de Deus-BA. Dissertação de Mestrado. Universidade federal da Bahia. 117 p.

HAY, J.D. & LACERDA, L.D. (1984). Ciclagem de nutrientes no ecossistema restinga. In: L.D.

HEGAZY, A.K. (1998) Perspectives on survival, phenology, litter fall and decomposition and caloric content of *Avicennia marina* in the Arabian Gulf region, 40:417-429.

LACERDA, L.D. 1984. Manguezais: florestas à beira-mar. *Ciência Hoje*, 3(13): 625-670.

LACERDA, L.D.; REZENDE, C.E.; JOSÉ, D.M.V.; WASSERMAN, J.C. & FRANCISCO, M.C.F. (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 a). Metallic composition of mangrove leaves from the southeastern brazilian coast. *Rev. Brasil. Biol.*, 46(2): 395-399.

LACERDA, L.D; REZENDE, C.E.; MARTINELLI, L.A.; OVALLE, A.R.C.; MOZETO, A.; NOGUEIRA, F.; VICTORIA, R.L.; ARAGON, G.T.; CUNHA, C.T. e RAMOS e SILVA, C.A. (1986 b). Composição isotópica de carbono em componentes de um ecossistema de manguezal na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. *Ciência e Cultura*; 38:1714-1717.

LACERDA, L.D., MARTINELLI, L.A., REZENDE, C.E., MOZETTO, A.A., OVALLE, A.R.C., VICTORIA, R.L., SILVA, C.A.R. & NOGUEIRA F.B. (1988). The fate of trace metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. *Science Total Environment* 75:249-259.

LACERDA, L.D.; SILVA, C.A.R.; REZENDE, C.E.; MARTINELLI, L.A. (1991). Food sources for the mangrove tree crab *Aratus pisonni*: a carbon isotopic study. *Revista Brasileira de Biologia*. 51:685-687.

LACERDA, L.D., CARVALHO, C.E.V., TANIKASI K.F., OVALLE, A.R.C., REZENDE, C.E. (1993) The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rhizospheres. *Biotropica*, 25(3): 252-257.

LACERDA, L.D. & DIOP (1993). Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. International Society for Mangrove Ecosystems.

LACERDA, L.D. & KJERFVE, B. (1993). Mangroves of Brazil. In: Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. Mangrove Ecosystems technical reports, vol.2, ITTO TS-13 Vol. 1 Project PD114/90 (F), 245-272.

LACERDA, L.D.; RIBEIRO, M.G. & GUEIROS, B.B. (1999). Manganese dynamics in a mangrove mud flat tidal creek in SE Brazil. *Mangroves and Salt Marshes*. 3:105-115.

LARCHER, W. (2000) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Rima. 531p.

LEITÃO, C.S. (2004). Caracterização geoambiental de zonas de manguezal da Baía de Aratu-Bahia-Brasil. Dissertação de Mestrado Universidade Federal da Bahia. Salvador, 136 p.

LI, M.S. (1997). Nutrients dynamics of a Futian mangrove forest in Shenzhen, South China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 45: 463-472.

LIN, P. & WANG, W. (2001). Changes in the leaf composition, leaf mass and leaf area during senescence in three species of mangroves. *Ecology Engineering*. 16:415-424.

LIZÁRRAGA, J.A.A., VERDUGO, F.J.F., RUBIO, A.O. (2004). Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Botany*, 79:137-143.

LOVELOCK, C.E.; FELLER, I.C.; BALL, M.C.; ENGELBRECHT, B.M.J. and EWE, M.L. (2006). Differences in plant function in phosphorus- and nitrogen- limited mangrove ecosystems. *New Phytologist*. 172:514-522.

LUGO, A.E. & SNEDAKER, S.C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 5: 39-64.

LUTTGE, U. (1997). *Physiological Ecology of Tropical Plants*. Springer, Berlin. pp.197-223.

MATOS, T.B. (2007). Decomposição de folhas de *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, RJ. Monografia de conclusão de Graduação em Ciências Biológicas. Universidade Estadual do Norte Fluminense.

MCFARLANE, G.R. & BURCHETT, M.D. (1999). Zinc distribution and excretion in the leaves of the grey mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. *Environmental and Experimental Botany*. 41:167-175.

MCFARLANE, 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.

MEDINA, E. & FRANCISCO, A.M. (1997). Osmolaty and  $\delta^{13}\text{C}$  of leaf tissues of mangrove species from environments of contrasting rainfall and salinity. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 45: 337-344.

MEDINA, E., GIARRIZZO, T., MENEZES, M., CARVALHO-LIRA, M., CARVALHO, E.A., PERES, A., SILVA, B., VILHENA, R., REISE A., BRAGA, F.C. (2001) Mangal communities of the "Salgado Paraense": ecological heterogeneity along the Bragança península assessed through soil and leaf analysis. *Amazoniana*, 16(3/4): 397-416.

MENEZES, L.F.T., PEIXOTO, A.L. & MACIEL, N.C. (2000). A riqueza ameaçada dos manguezais. *Ciência Hoje*, 27(158) 63-67.

MUZUCA, A.N.N. & SHUNULA, J.P. (2006). Stable isotope compositions of organic carbon and nitrogen of two mangrove stands along the Tanzanian coastal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 66: 447-458.

NIELSEN, T & ANDERSEN, F.O. (2003). Phosphorus dynamics during decomposition of mangrove (*Rhizophora apiculata*) leaves in sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 293:73-88.

OCHIENG, C.A. & ERFTEMEIJER, P.L.A. (2002). Phenology, litterfall and nutrient resorption in *Avicennia marina* (Forssk.) Virth in Gazi Bay, Kenya. *Trees*, 16:167-171.

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

PANITZ, C.M.N. (1986). Produção e decomposição de serrapilheira no manguezal do Itacorubi, Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 601 pp.

PELEGRÍ S.P.; RIVERA-MONROY, V. & TWILLEY, R. (1997). A comparison of nitrogen fixation (acetylene reduction) among three species of mangrove litter, sediments, and pneumatophores in South Florida, USA. *Hidrobiologia*. 356:73-77.

POOL, D.J.; LUGO, A.E. & SNEDAKER, S.C. (1975). Litter production in mangrove forests of Southern Florida and Puerto Rico. In: WALSH, G.;

POPP, M., LARCHER, F. & WEIGEL. 1984. Chemical composition of Australian mangroves III. Free aminoacids, total methylated onion compounds and total nitrogen. *Z. Pflanzenphysiol.* 114: 15-25.

PROCTOR, J. (1987). Nutrient cyclin in primary and old secondary rainforests. *Applied Geography*, 7:135-153.

RAMOS e SILVA, C.A.; SILVA, A.P.; OLIVEIRA, S.R. (2006). Concentration, stock and transport rate of heavy metals in a red mangrove, Natal, Brazil. *Marine Chemistry*. 99: 2-11.

RAMOS e SILVA, C.A.; OLIVEIRA, S.R.; REGO, R.D.P.; MOZETO, A.A. (2007). Dynamics of phosphorus and nitrogen through litter fall and decomposition in a tropical mangrove Forest. *Marine Environmental Research*.

SANTOS, D.O. (2004). Biogeoquímica da matéria orgânica e suas relações com as matrizes sedimentares em um ecossistema de manguezal no delta do rio Paraíba do Sul, RJ. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (1995). Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo : Caribbean Ecological Research.

SCHAEFFER-NOVELI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G.; SOARES, M.L.G.; DE-ROSA, T. (2000). Brazilian Mangroves. *Aquatic Ecosystem Health*, 3:561-570.

SCHMIDT, G. 1988. Manguezal da Cananéia, concentração dos elementos químicos carbono, nitrogênio, cálcio, fósforo, manganês, ferro e cinzas em folhas de mangue e sua correlação com taxa de decomposição e salinidade. Tese de Doutorado. São Paulo. Universidade de São Paulo.

SILVA, C.A.R.; LACERDA, L.D.; OVALLE, A.R.C.; REZENDE, C.E. (1998). The dynamics of heavy metals through litterfall and decomposition in a red mangrove forest. *Mangroves and Salt Marshes*. 2:149-157.

SOFFIATI, A.A. (2001) Entre a terra e a água: Estudos sobre as relações das

sociedades humanas com os manguezais da ecorregião de São Tomé ente 1950 e 2000. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro-RJ, Universidade Federal Fluminense. 538p.

SNEDAKER, S.C. & TEAS, H. (Eds) Prodeedings of the International Symposium on Biology an Management of mangroves. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1: 213-237.

TAM, N.F.Y., WONG, Y.S., LAN, C.Y., WANG, L.N. (1998). Litter production and decomposition in a subtropical mangrove swamp receiving wastewater. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 226:1-18.

TOMLINSON, P.B. (1986). *The botany of mangroves*. Cambridge University Press, New York.

UKPONG, I.E. (1997). Vegetation and its relation to soil nutrient and salinity in the Calabar mangrove swamp, Nigeria. *Mangroves and salt marshes*. 1: 211-218.

VERHEYDEN, A.; HELLE, G.; SCHLESER, G.H.; GEHAIRS, F.; BEECKMAN, H. & KOEDAM, N. (2004). Annual cyclicality in high-reolution stable carbon and oxigen isotope in the wood of the mangrove tree *Rhizophora mucronata*. *Plant, Cell and Environment*. 27: 1525-1536.

WALSH, G.E. (1974). Mangroves: a review. *In*: Reinold, R.J., Queen, W.H. (eds). *Ecology of Halophytes*. Academic Press, Inc. 605 p.

WAFAR, S.; UNTAWALE, A.G. & WAFARr, M. (1997). Litter Fall and Energy Flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 44:111-124.

WANG, W.Q., WANG, M., LIN, P. (2003). Seasonal changes in element contents in mangrove element retranslocation durin leaf senescence. *Plant and Soil*, 252:187-193.

WOOLER, M.; SMALLWOOD, B.; SCHARLER, U.; JACOBON, M.; FOGEL, M. (2003 a). A taphonomic study of  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  values in *Rhizophora* mänge leaves for a multi-proxy approach to mangrove palaeoecology. *Organic Geochemistry*. 34:1259-1275.

WOOLER, M.; SMALLWOOD, B.; SCHARLER, U.; JACOBON, M.; FOGEL, M. (2003 b). Carbon and nitrogen stable isotopic variation in *Laguncularia racemosa* (L.) (White mangrove) from Florida and Belize: implications for trophic level studies. *Hydrobiologia*. 499:13-23.

## 7. APÊNDICE

Apêndice 1: Aporte anual de macro e microelementos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) na serapilheira do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul. Valores em negrito indicam a média e valores abaixo indicam o desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ , ANOVA *one-way*) entre as espécies estudadas

Espécie	Ca	K	Mg	Na	P	C	N	Cu	Mn	Zn	Al	Fe
	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$											
<i>Laguncularia racemosa</i>	<b>88,6 a</b>	<b>53,1 a</b>	<b>38,9 b</b>	<b>30,2 c</b>	<b>10,5a</b>	<b>4114 a</b>	<b>60,9 a</b>	<b>0,01 c</b>	<b>0,91 c</b>	<b>0,08 b</b>	<b>0,86 a</b>	<b>39,8 a</b>
	25,7	15,6	9,71	11,3	3,15	944	15,6	0,002	0,17	0,02	0,22	7,9
<i>Avicennia germinans</i>	<b>28,6 b</b>	<b>55,8 a</b>	<b>42,4 ab</b>	<b>55,3 b</b>	<b>6,76 b</b>	<b>3285 b</b>	<b>69,3 a</b>	<b>0,04 a</b>	<b>1,52 b</b>	<b>0,11 a</b>	<b>0,97 a</b>	<b>4,69 b</b>
	3,91	11,7	5,89	6,36	2,58	347	8,56	0,01	0,34	0,01	0,14	0,45
<i>Rhizophora mangle</i>	<b>91,3 a</b>	<b>37,4 b</b>	<b>50,8 a</b>	<b>81,5 a</b>	<b>7,16 b</b>	<b>4814 a</b>	<b>66,8 a</b>	<b>0,01 b</b>	<b>1,97 a</b>	<b>0,03 c</b>	<b>0,79 a</b>	<b>1,24 c</b>
	3,92	3,46	1,65	6,41	0,57	253	10,5	0,003	0,14	0,01	0,10	0,13