



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI – MPEG  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**BRUNO DELANO CHAVES DO NASCIMENTO**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FOLHAS DE  
MANGUE VERMELHO (*Rhizophora mangle* L.) EM UM MANGUEZAL E ÁREA  
TRANSICIONAL EM SÃO JOÃO DE PIRABAS, PARÁ**

**Belém  
2015**

**BRUNO DELANO CHAVES DO NASCIMENTO**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FOLHAS DE MANGUE VERMELHO (*Rhizophora mangle* L.) EM UM MANGUEZAL E ÁREA TRANSICIONAL EM SÃO JOÃO DE PIRABAS, PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com a EMBRAPA Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área de concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.  
Orientadora: Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo

**Belém  
2015**

**BRUNO DELANO CHAVES DO NASCIMENTO**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FOLHAS DE MANGUE VERMELHO (*Rhizophora mangle* L.) EM UM MANGUEZAL E ÁREA TRANSICIONAL EM SÃO JOÃO DE PIRABAS, PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com a EMBRAPA Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.  
Área de concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Sócio-Ambientais.

Data de aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/2015

Banca examinadora

---

Prof<sup>a</sup>. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Orientadora  
Doutora em Agronomia  
Pesquisadora do Museu Paraense Emílio Goeldi

---

Prof. Mario Augusto Gonçalves Jardim - Membro  
Doutor em Ciências Biológicas  
Pesquisador do Museu Paraense Emílio Goeldi

---

Prof. Everaldo Barreiros de Souza - Membro  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

---

José Francisco Bêrredo Reis da Silva – Membro  
Doutor em Geologia e Geoquímica  
Pesquisador do Museu Paraense Emílio Goeldi

Dedico esse trabalho aos meus pais,  
**Maria Luiza Chaves do Nascimento e**  
**Derocimar França do Nascimento.** Vocês que  
são a luz da minha vida e que sempre  
acreditaram no meu sucesso mesmo quando  
nem eu acreditava.  
Amo vocês!

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao nosso Senhor **Deus**, que me fortaleceu e me conduziu para chegar até o fim dessa jornada, me mostrou que era possível me fez ultrapassar os desafios, me motivou quando não tinha mais forças e que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais a quem dedico esse trabalho que foram os que mais acreditaram em mim e na minha capacidade. Sem vocês não teria conseguido. Diante de tantas mudanças e reviravoltas vocês foram a base que me sustentou e a razão de agora eu estar conseguindo chegar ao topo desse desafio.

Aos meus familiares, irmãos, primos, tios, avós, sobrinhos. Todos vocês são importantes e tem especial valor em tudo que eu faço e em tudo que conquisto. A vocês todo meu carinho, toda minha gratidão. Represento aqui em Nayara, Matheus, Nycollas, José, Joana, Aldamir, Diuza e Delza todos vocês que não puderam ser citados nesse texto, mas que são parte de mim e que compõem minha tão curta vida de maneira grandiosa. Amo todos vocês.

Agradeço a Universidade Federal do Pará, ao Museu Paraense Emílio Goeldi e a EMBRAPA Amazônia Oriental, grandes instituições que constroem e multiplicam o conhecimento e a ciência em nosso estado tão carente de incentivos e de promoção do desenvolvimento científico e tecnológico e que fornecem a esse povo a oportunidade do saber que é o melhor dom que alguém pode receber.

Nesse tom agradeço também aos nossos mestres, nossos professores que no meio de tantas e tantas atividades conseguem dedicar tempo e paciência para nos formar, nos repassar o conhecimento tão valioso, e se empenham com maestria na condução desse trabalho. Na pessoa de minha querida orientadora Dra. Lourdes Ruivo os meus aplausos aos senhores.

E como não agradecer a minha orientadora, Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo, que foi quem mais me deu força pra continuar, mesmo com mudanças de município, o começo de um novo emprego e tantos outros desafios surgindo a minha frente, ela não me deixou desanimar e me ajudou como ninguém a avançar e a prosseguir. Lou, quero deixar aqui registrado o meu carinho e o meu reconhecimento.

Aos meus colegas de mestrado, todos tão especiais e fundamentais para o sucesso desse curso. Mentas brilhantes, pessoas maravilhosas e muito guerreiras. Em todos os instantes desse curso a alegria era o sentimento que comandava todas as atividades

desenvolvidas. Todos somos amigos para além desse curso. Amigos, eu adoro vocês como irmãos.

Aos queridos Drs. do Museu Goeldi que foram, além de amigos queridos, grandes parceiros nessa construção: Rosecélia Castro, Francisco Bêredo, Cristine Amarante, Amílcar Mendes, dentre outros. Vocês têm um dom maravilhoso e o melhor de tudo é que sabem muito bem como partilhar esse dom.

Quero também agradecer as instituições de fomento a pesquisa. Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica que deu início ao desenvolvimento desse trabalho, a CAPES pela bolsa de mestrado, a FAPESPA pelo apoio ao projeto de pesquisa que possibilitou o desenvolvimento desse trabalho.

Por fim, quero deixar o meu muito obrigado a todos aqueles que de certa forma tiveram alguma contribuição para o desenvolvimento desse trabalho, como os secretários do PPGCA, os amigos que ajudaram nas coletas, como o grande Josué, e tantos outros que foram parte integrante dessa construção.

**A todos os senhores o meu MUITO OBRIGADO!**

“Não vou fugir e nem abandonar a luta desses agricultores que estão desprotegidos no meio da floresta. Eles têm o sagrado direito a uma vida melhor numa terra onde possam viver e produzir com dignidade sem devastar.”

**Dorothy Stang**

**Freira americana assassinada em fevereiro de 2005, há exatamente dez anos, por sua luta em defesa de um meio ambiente socialmente justo no interior do Pará**

## RESUMO

Os manguezais são ecossistemas costeiros característicos de regiões tropicais e subtropicais de grande importância social e ecológica. Na Amazônia esses ecossistemas representam mais da metade das áreas de mangue do Brasil (cerca de 70%) e são reconhecidos pela sua grande exuberância e magnitude relacionadas à distribuição regular das chuvas, as altas temperaturas, a grande amplitude de marés (>4m) e ao suprimento de sedimentos dos rios dessa região. Mudanças nas características hídricas e nas propriedades físico químicas do solo podem provocar alterações na dinâmica dos nutrientes nesses ecossistemas. Em ambientes transicionais essas características são alteradas e podem ter efeitos sobre a concentração de nutrientes nos compartimentos do ecossistema. Visando diferenciar esses ambientes de transição e os ambientes de manguezais propriamente ditos quanto à concentração de nutrientes é que este trabalho busca avaliar os teores de nutrientes no solo, em folhas de *Rhizophora mangle* L. e em folhas de serapilheira nesses dois tipos de ambientes em dois períodos sazonais em um manguezal do litoral amazônico. Foram coletadas amostras no mês de menos chuva (setembro de 2011) e o de mais chuvas (abril de 2012) nas duas áreas e submetidas a análises químicas para obter a concentração de macro (Ca, Mg, Na, K, Al, S, P, N, C) e micro nutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe). Também foram analisadas as propriedades físico-químicas do solo (Eh, pH e Salinidade) e a granulometria do solo. Os resultados apontam maiores concentrações de nutrientes no solo do manguezal de franja quando comparado a zona de transição (manguezal x floresta secundária), indicando que o Eh que é mais baixo no primeiro influenciado pela proximidade com o mar e a maior frequência de inundação pelas marés, é o principal fator de diferenciação na concentração de nutrientes do solo. Os nutrientes nas folhas de *Rhizophora mangle* L. não apresentam grandes diferenças de um ambiente para o outro e não seguem o mesmo padrão de concentração do solo quanto às duas áreas estudadas, porém, nas folhas são mais influenciados pela diferença de um período climático para o outro. Assim, as árvores de mangue vermelho do bosque da zona de transição conseguem manter uma concentração de nutrientes semelhante ao bosque de franja, sendo a diferença estrutural do bosque mais relacionada a granulometria do solo do que a relação nutricional, já que essas árvores possuem mecanismos fisiológicos para conservação e seleção de nutrientes, como é o caso do N que poderia ser um nutriente limitante nesses ambientes.

Palavras-chave: Concentração de nutrientes. Ecótono. Propriedades físico-químicas. Manguezais de franja. Costa Norte Brasileira.



## ABSTRACT

Mangroves are characteristic coastal ecosystems of tropical and subtropical regions of great social and ecological importance. At Amazon these ecosystems represent more than half of mangrove areas of Brazil (about 70%) and are renowned for their great exuberance and magnitude related to regular distribution of rainfall, high temperatures, the large tidal range (> 4m) and the supply of sediments from the rivers of this region. Changes in water characteristics and physico-chemical soil properties can cause changes in nutrient dynamics in these ecosystems. In transitional environments these characteristics are altered and may have effects on the concentration of nutrients in the ecosystem compartments. In order to differentiate these transitional environments and the actual mangrove environments for the concentration of nutrients, this study aims to determine the nutrient content in the soil, in *Rhizophora mangle* L. leaves and leaf litter in these two types of environments in two seasonal periods, in a mangrove of the Amazon coast. Samples were collected in the drier month (September 2011) and in the rainy month (April 2012) in the two areas and subjected to chemical analysis for the concentration of macro (Ca, Mg, Na, K, Al, S, P, N, C) and micro nutrients (Cu, Zn, Mn, Fe). We also analyzed the physico-chemical properties of the soil (Eh, pH and salinity) and the granulometry of the ground. The results show higher nutrient concentrations in the fringe mangrove soil when compared to the transition zone (mangrove x secondary forest), indicating that the Eh, which is lower in the first influenced by the proximity to the sea and the highest frequency of flooding by tides, is the main differentiating factor in the concentration of soil nutrients. The nutrients in the *Rhizophora mangle* L. leaves not differ significantly from one environment to another and do not follow the same pattern of soil concentration on the two areas studied, however, the leaves nutrients are more influenced by the difference of a climatic period for other. Thus, the red mangrove trees of the transition zone can maintain a concentration of nutrients similar to the fringe of the forest, and the structural difference of the woods is more related to soil particle size than the nutritional relationship, since these trees have physiological mechanisms for the maintenance and selection of nutrients, such as N which could be a limiting nutrient in these environments.

Key-words: Concentration of nutrients. Ecotone. Physicochemical properties. Fringe mangroves. Brazilian North Coast.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Mapa da distribuição dos mangues pelo mundo e a sua divisão: (1) Oeste das Américas, (2) Leste das Américas, (3) Oeste da África, (4) Leste da África, (5) Indo-Malásia e (6) Australásia. ....	26
Figura 2-	Representação dos tipos fisiográficos de manguezal 1 = Bosque de Bacia; 2 = Bosque Ribeirinho; 3 = Bosque de Franja; 4 = Bosque Ilhote ou Inundado e 5 = Bosque Anão. ....	30
Figura 3-	Mapa da Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia - CMMA. ....	43
Figura 4-	Localização da área de estudo. A: bosque de franja; B: Zona de Transição; C: Cuiarana.....	48
Figura 5-	Precipitação média mensal (série de 4 anos – 2010/2013).....	50
Figura 6-	Variação da temperatura máxima, média e mínima ao longo de um ano (julho de 2011 a junho de 2012).....	50
Figura 7-	Mapa de unidades de paisagem com principais unidades geomorfológicas da área de estudo....	53
Figura 8-	Perfis de amostragem das áreas de estudo a) manguezal de franja da Ilha de Itarana e b) zona de transição entre manguezal e floresta secundária.....	54
Figura 9	Vista do manguezal de franja da Ilha de Itarana.....	55
Figura 10	Árvores de mangue vermelho no manguezal da Ilha de Itarana.....	55
Figura 11	Vista da zona de transição: à esquerda a vegetação de floresta secundária e a direita árvores de mangue vermelho de pequeno porte.....	57
Figura 12	Precipitação acumulada mensal de julho de 2011 a junho de 2012 e as duas coleta.....	58
Figura 13	Triângulos texturais para as amostras de solo dos bosques do manguezal de franja e da zona de transição.....	64
Figura 14	Variação das frações granulométricas na profundidade de 0-20cm ao longo dos dois perfis: manguezal de franja e zona de transição.....	65
Figura 15	Potencial de oxirredução (Eh) do solo nas duas áreas estudadas e nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60cm. O traço indica a mediana, a extremidade inferior da caixa o 1º quartil e a superior o 3º quartil.....	67
Figura 16	pH do solo nas duas áreas estudadas e nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60cm. O traço indica a mediana, a extremidade inferior da caixa o 1º quartil e a superior o 3º quartil.....	67
Figura 17	Regressão linear de pH e Eh.....	68
Figura 18	Salinidade do solo nas duas áreas estudadas e nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60cm. O traço indica a mediana, a extremidade inferior da caixa o 1º quartil e a superior o 3º quartil.....	68
Figura 19	Variação da salinidade nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal de franja.....	69
Figura 20	Variação do pH nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal de franja.	69
Figura 21	Variação do Eh nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal de franja.	70
Figura 22	Variação da salinidade nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal da zona de transição .....	70

Figura 23	Variação do Eh nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal da zona de transição. ....	71
Figura 24	Variação do pH nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal da zona de transição. ....	71
Figura 25	Análise de componentes principais dos nutrientes, Eh, pH e salinidade no solo: à esquerda diagrama de ordenação identificando os pontos do manguezal de franja em vermelho e da zona de transição em verde; à direita os autovetores das variáveis. PC1= Componente principal 1; PC2= Componente principal 2. ....	75
Figura 26	Análise de componentes principais dos nutrientes m folhas de <i>Rhizophora mangle</i> : acima à esquerda os autovetores das variáveis, acima a direita diagrama de ordenação identificando os pontos do período chuvoso em vermelho e do período de estiagem em verde e no centro abaixo diagrama de ordenação identificando os pontos do manguezal de franja em vermelho e da zona de transição em verde. ....	80
Figura 27	Análise de componentes principais dos nutrientes em folhas de serapilheira: acima à esquerda os autovetores das variáveis, acima a direita diagrama de ordenação identificando os pontos do período chuvoso em vermelho e do período de estiagem em verde e no centro abaixo diagrama de ordenação identificando os pontos do manguezal de franja em vermelho e da zona de transição em verde.....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Áreas de manguezal estimadas por país e o percentual em relação à área total de manguezais no mundo. ....	28
Tabela 2-	Frações granulométricas nas profundidades de 0-20cm, 20-40cm e 40-60cm no manguezal de franja e na zona de transição. Média ± Erro Padrão.....	65
Tabela 3-	Valores médios do potencial de oxirredução (Eh), do pH e da Salinidade no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA. ....	66
Tabela 4-	Valores médios das concentrações de micronutrientes no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA. ....	72
Tabela 5-	Valores médios das concentrações dos macronutrientes Mg, Ca, K, Na, e Al no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA. ....	73
Tabela 6-	Valores médios das concentrações dos macronutrientes P, S, N, e C no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA. ....	73
Tabela 7-	Valores médios da Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTC ef.), da Saturação por Alumínio (m) e da relação C/N no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA. ....	74
Tabela 8-	Autovalores e variâncias explicadas pelas Componentes Principais e variância cumulativa da Análise de Componentes Principais dos dados do solo. ....	76
Tabela 9-	Altura e circunferência a altura do peito (CAP) de <i>Rhizophora mangle</i> L. no manguezal de franja da Ilha de Itarana e da zona de transição com a vegetação de capoeira. ....	77

Tabela 10-	Valores médios das concentrações de micronutrientes nas folhas de <i>Rhizophora mangle</i> dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA. ....	77
Tabela 11-	Valores médios das concentrações dos macronutrientes Mg, Ca, K e Na nas folhas de <i>Rhizophora mangle</i> dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.....	78
Tabela 12-	Valores médios das concentrações dos macronutrientes P, S, N e C nas folhas de <i>Rhizophora mangle</i> dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.	79
Tabela 13-	Autovalores e variâncias explicadas pelas Componentes Principais e variância cumulativa da Análise de Componentes Principais dos dados das folhas de <i>Rhizophora mangle</i> . ....	80
Tabela 14-	Valores médios da razão N/P nas folhas de <i>Rhizophora mangle</i> dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA. ....	81
Tabela 15-	Fator de concentração dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn. ....	82
Tabela 16-	Valores médios das concentrações de micronutrientes nas folhas de serapilheira dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA. ....	82
Tabela 17-	Valores médios das concentrações dos macronutrientes Mg, Ca, K e Na nas folhas de serapilheira dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA. ..	83
Tabela 18-	Valores médios das concentrações dos macronutrientes P, S, N e C nas folhas de serapilheira dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA. ....	83
Tabela 19-	Autovalores e variâncias explicadas pelas Componentes Principais e variância cumulativa da Análise de Componentes Principais dos dados das folhas de serapilheira. ....	85
Tabela 20-	Comparação dos resultados de macronutrientes no solo dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo. ....	108

Tabela 21-	Comparação dos resultados de micronutrientes no solo dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo. ....	109
	Comparação dos resultados de macronutrientes nas folhas de <i>Rhizophora</i>	
Tabela 22-	<i>mangle</i> dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo. ....	110
	Comparação dos resultados de micronutrientes nas folhas de <i>Rhizophora</i>	
Tabela 23-	<i>mangle</i> dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo. ....	110

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>MPEG</b>	Museu Paraense Emílio Goeldi
<b>LAQ-MPEG</b>	Laboratório de Análises Químicas do Museu Paraense Emílio Goeldi
<b>Art.</b>	Artigo
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>CMMA</b>	Costa de Manguezais de Macromarés da Amazônia
<b>ZCIT</b>	Zona de Convergência Intertropical
<b>CCBN</b>	Corrente Costeira Norte do Brasil
<b>NNW</b>	Norte Noroeste
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>SAMS</b>	South American Monsoon System
<b>TSM</b>	Temperatura da Superfície do Mar
<b>LI</b>	Linhas de instabilidade
<b>NE</b>	Nordeste
<b>E-NE</b>	Leste Nordeste
<b>CAP</b>	Circunferência a Altura do Peito
<b>CV</b>	Coefficiente de Variação
<b>CBO</b>	Coordenação de Botânica do Museu Paraense Emílio Goeldi
<b>CTC</b>	Capacidade de Troca de Cátions
<b>ANOVA</b>	Análise de Variância
<b>ACP/PCA</b>	Análise de Componentes Principais
<b>PC</b>	Componente Principal
<b>FC</b>	Fator de Concentração
<b>Ns</b>	não significativo
<b>Nd</b>	menos que o detectável

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Km</b>	quilômetro	<b>UV</b>	ultravioleta
<b>km<sup>2</sup></b>	quilômetro quadrado	<b>g</b>	grama
<b>%</b>	porcentagem	<b>HCl</b>	ácido clorídrico
<b>M</b>	metro	<b>HNO<sub>3</sub></b>	ácido nítrico
<b>&gt;</b>	maior que	<b>HClO<sub>3</sub></b>	ácido perclórico
<b>a.C.</b>	antes de Cristo	<b>NaCl</b>	cloreto de sódio
<b>°</b>	grau	<b>m%</b>	saturação por alumínio
<b>'</b>	minuto	<b>C/N</b>	razão carbono e nitrogênio
<b>°C</b>	grau Celsius	<b>N/P</b>	razão nitrogênio fósforo
<b>A.P.</b>	Antes do Presente	<b>≥</b>	maior ou igual a
<b>Msl</b>	mean sea level	<b>mg.kg<sup>-1</sup></b>	miligramas por quilogramas
<b>CO<sub>2</sub></b>	dióxido de carbono	<b>cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup></b>	centimol de cátion por decímetro cúbico
<b>pH</b>	potencial hidrogeniônico	<b>g.kg<sup>-1</sup></b>	grama por quilograma
<b>Eh</b>	potencial de oxirredução	<b>O<sub>2</sub></b>	gás oxigênio
<b>NO<sup>3-</sup></b>	nitrato	<b>Cu</b>	cobre
<b>Mn<sup>4+</sup></b>	íon manganês 4	<b>Zn</b>	zinco
<b>Mn<sup>2+</sup></b>	íon manganês 2	<b>Mn</b>	manganês
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	íon ferro 3	<b>Fe</b>	ferro
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	íon ferro 2	<b>Ca</b>	cálcio
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	sulfato	<b>Ca<sup>++</sup></b>	cálcio trocável
<b>N<sub>2</sub></b>	gás nitrogênio	<b>K</b>	potássio
<b>H<sup>+</sup></b>	íon hidrogênio	<b>K<sup>+</sup></b>	potássio trocável
<b>FeS<sub>2</sub></b>	pirita	<b>Na</b>	sódio
<b>(K<sub>2</sub>Fe<sub>6</sub>(OH)<sub>12</sub>(SO<sub>4</sub>)</b>	jarosita	<b>Na<sup>+</sup></b>	sódio trocável
<b>Ton</b>	tonelada	<b>Mg</b>	magnésio



<b>Mm</b>	milímetro
<b>Cm</b>	centímetro
<b>cm.s<sup>-1</sup></b>	centímetro por segundo
<b>H<sub>máx</sub></b>	altura máxima
<b>mV</b>	milivolt
<b>ml</b>	mililitros
<b>KCl</b>	cloreto de potássio
<b>NaOH</b>	hidróxido de sódio
<b>P<sup>-</sup></b>	fósforo disponível
<b>Mg<sup>++</sup></b>	magnésio trocável
<b>Al<sup>+++</sup></b>	alumínio trocável
<b>P</b>	fósforo
<b>S</b>	enxofre
<b>C</b>	carbono
<b>N</b>	nitrogênio

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	20
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	23
2.1	<b>Objetivo geral</b> .....	23
2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	23
3	<b>HIPÓTESE</b> .....	24
4	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	25
4.1	<b>Os Manguezais</b> .....	25
4.1.1	Distribuição dos manguezais e fatores abióticos.....	26
4.1.2	Classificação fisiográfica .....	28
4.1.3	Importância socioambiental, impactos e fragilidades .....	31
4.1.3.1	Função ecológica .....	31
4.1.3.2	Relevância sociocultural .....	33
4.1.3.3	Impactos antrópicos/naturais e ameaças aos manguezais .....	35
4.2	<b>Solos de manguezais</b> .....	37
4.3	<b>Nutrição mineral da flora dos manguezais</b> .....	38
4.3.1	Espécies vegetais típicas de manguezais .....	38
4.3.2	O mangue vermelho ( <i>Rhizophora mangle</i> L.) .....	40
4.3.3	Nutrição mineral dos mangues .....	41
4.3.4	Ciclagem de nutrientes via serapilheira .....	41
4.4	<b>Os manguezais da Amazônia</b> .....	42
4.5	<b>As zonas de transição</b> .....	46
5	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	48
5.1	<b>Área de estudo</b> .....	48
5.1.1	Localização da área de estudo .....	48
5.1.2	Clima .....	49
5.1.3	Vegetação .....	51
5.1.4	Geologia, geomorfologia e solos .....	52
5.1.5	Marés .....	53
5.2	<b>Locais de amostragem</b> .....	54
5.2.1	Perfil 1: manguezal de franja da Ilha de Itarana .....	54
5.2.2	Perfil 2: zona de transição entre manguezal e floresta secundária .....	56
5.3	<b>Coleta, amostragem e preparação de amostras</b> .....	57

5.3.1	Amostragem de solo .....	57
5.3.2	Coleta e preparação de folhas .....	58
5.3.3	Medições de salinidade, pH e Eh do solo .....	59
5.4	<b>Análises químicas e granulometria</b> .....	59
5.4.1	Análises químicas do solo .....	59
5.4.2	Granulometria .....	60
5.4.3	Análises químicas do material vegetal .....	61
5.5	<b>Análise de dados e estatística</b> .....	62
6	<b>RESULTADOS</b> .....	64
6.1	<b>Resultados físico-químicos do solo</b> .....	64
6.1.1	Granulometria e classes texturais .....	64
6.1.2	Eh, pH e salinidade .....	66
6.1.3	Nutrientes do solo .....	72
6.2	<b>Nutrientes em folhas de <i>Rhizophora mangle</i></b> .....	76
6.3	<b>Nutrientes em folhas de serapilheira</b> .....	82
7	<b>DISCUSSÃO</b> .....	86
8	<b>CONCLUSÃO</b> .....	95
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	97
	<b>APÊNDICES</b> .....	108
	<b>APÊNDICE A – Comparação dos resultados de macronutrientes (solo)..</b>	109
	<b>APÊNDICE B – Comparação dos resultados de micronutrientes (solo)...</b>	110
	<b>APÊNDICE C – Comparação dos resultados de macronutrientes</b> <b>(<i>Rhizophora mangle</i>)</b> .....	111
	<b>APÊNDICE D – Comparação dos resultados de micronutrientes</b> <b>(<i>Rhizophora mangle</i>)</b> .....	113

## 1. INTRODUÇÃO

Os manguezais são conceituados como ecossistemas costeiros de transição entre os ambientes terrestre e marinho que ocupam os litorais tropicais e subtropicais ocorrendo em regiões abrigadas como estuários, baías e lagunas e que são formados por espécies de árvores e arbustos sempre verdes adaptadas à elevada salinidade, a inundações pelas marés e a baixos níveis de oxigênio e que servem de abrigo e alimento para uma infinidade de organismos (LACERDA, 2009; SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Esse ecossistema é altamente produtivo e contribui significativamente para a fertilidade das águas costeiras pela produção de grande quantidade de matéria orgânica, exportação desta matéria orgânica para as águas costeiras, transformação do material foliar em detritos e utilização destes detritos como alimento por um grande número de organismos (PETRI, 2009).

A função ecológica dos manguezais é de grande importância para as zonas costeiras, principalmente porque eles servem como área de abrigo, alimentação, reprodução e desenvolvimento de espécies marinhas, estuarinas, terrestres e límnicas, contribuem para a manutenção da diversidade costeira, protegem a linha de costa da ação erosiva das marés, das brisas costeiras, tempestades e furacões, e do consequente assoreamento dos corpos d'água adjacentes, também funcionam como filtro natural de contaminação através da absorção e imobilização de elementos tóxicos, impedindo que alcancem outras zonas da costa, são também a base de inúmeras cadeias alimentares detritícas, das águas costeiras adjacentes, devido às altas taxas de produção de detritos e várias outras funcionalidades (FERREIRA, 2002; PELLEGRINI, 2000; QUIÑONES, 2000).

Segundo a FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations) estima-se que no mundo existam cerca de 15,6 milhões de hectares de manguezais, embora em algumas estimativas recentes esse total varie de 12 a 20 milhões de hectares (FAO, 2007). No Brasil os manguezais cobrem uma área com cerca de 20.000 km<sup>2</sup> o que corresponde a cerca de 12% da totalidade das áreas em todo o mundo (SEIXAS; FERNANDES; SILVA, 2006).

Os manguezais da costa norte compreendem parte significativa deste ecossistema no Brasil. Segundo Mendes (2005) o conjunto das áreas de manguezal dos estados do Amapá, Pará e Maranhão perfazem 70% do total brasileiro e só as áreas do Pará e Maranhão somadas cobrem 57% enquanto que Menezes, Berger e Mehlig (2008) afirmam que o percentual das áreas desses três estados seja ainda maior, cerca de 85%.

Os manguezais da Costa Norte do Brasil além de corresponderem por mais da metade da área de mangues do país apresentam grande exuberância e magnitude (com relatos de árvores com mais de 30m de altura e 1m de diâmetro) que são justificadas pela distribuição regular das chuvas, altas temperaturas ao longo do ano, a influência das macromarés (> 4 m) e o suprimento de sedimentos dos rios que atingem a costa (MENDES, 2005; MENEZES; MEHLIG, 2009).

Vários autores concordam que fatores abióticos como amplitude e frequência das inundações de marés, índice pluviométrico, temperatura, salinidade dentre outros são responsáveis por permitir e regular a existência dos mangues (SOUZA et al., 1996; SILVA; FERNANDES, 2004; SEIXAS; FERNANDES; SILVA, 2006; PETRI, 2009). Estes fatores podem exercer controle sobre a concentração de nutrientes no solo e sobre a disponibilidade desses nutrientes para a vegetação. O conhecimento dessa relação dos nutrientes do solo com a vegetação dos manguezais é de suma importância para a busca de estratégias para garantir a conservação desses ecossistemas costeiros, principalmente na região da Costa Norte do Brasil de grande relevância para a conservação.

A variabilidade quanto ao desenvolvimento estrutural do manguezal pode estar relacionada com a concentração de nutrientes e com outros fatores abióticos (PETRI, 2009). Bernini et al. (2006) destacam a necessidade de se estudar a concentração de nutrientes e sua distribuição em folhas e solo para se conhecer o processo de ciclagem e os fluxos de entrada e saída, isso porque a comunidade vegetal por ser a principal fonte de produção de serapilheira, tem papel fundamental na circulação dos elementos.

Cuzzuol e Campos (2001) afirmam que os níveis de nutrientes no solo são identificados como um dos principais fatores limitantes a composição florística e a distribuição do manguezal. Recentemente a composição química da vegetação, principalmente das espécies de mangue tem despertado o interesse de pesquisadores devido a sua importância para a produtividade costeira e ciclagem de nutrientes.

Essa relação solo planta tem um caráter exclusivo nas zonas transicionais. As zonas de transição entre o manguezal e outros ecossistemas, por serem áreas de grande fragilidade devido ao estresse natural, causado pelas mudanças na salinidade, hidrologia, substrato e etc. merecem ser investigadas com maior afinco. Essas zonas são áreas marginais localizadas no

interior dos manguezais na fronteira com outros ecossistemas que são raramente atingidas pelas marés. É nelas que geralmente se formam os “apicuns”<sup>1</sup>.

A relação solo/vegetação dessas áreas precisa ser melhor entendida, principalmente por suas características de diferentes intensidade e frequência de inundação pelas marés, salinidade, granulometria e etc. que podem modificar as características químicas do solo e da vegetação desses ambientes (PELLEGRINI, 2000; SCHIMIDT, 2012). O estudo dessas áreas de fronteira do manguezal deve estar alinhado com as estratégias de conservação e manejo desse ambiente.

Para diferenciar esses ambientes de transição, em que os apicuns são encontrados, e os ambientes de manguezais propriamente ditos quanto à concentração de nutrientes é que este trabalho buscou avaliar os teores de nutrientes no solo, em folhas de *Rhizophora mangle* L. e em folhas de serapilheira nesses dois tipos de ambientes em dois períodos sazonais distintos (época mais chuvosa e época menos chuvosa ou de estiagem) na Costa Norte brasileira.

Este trabalho é parte do projeto “Rede de Mudanças Climáticas e Ambientais do Pará: uma perspectiva de estudos integrados” (PRONEX/FAPESPA/CNPq, edital 14/2009) desenvolvido no Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) dentro do subprojeto “Efeitos da variação sazonal de curta duração sobre o desenvolvimento de manguezais e áreas ecótonas da costa paraense: o exemplo da Ilha de Itarana” constituído por um grupo de pesquisadores desta instituição que atuam em diferentes áreas do conhecimento e desenvolveram pesquisas integradas sobre diferentes temáticas.

---

<sup>1</sup> Apicum é o termo em português usado para designar uma planície hipersalina que ocorre na porção mais interna do manguezal, na interface médio/supra litoral, raramente em pleno interior do bosque, uma zona característica de manguezais localizados em regiões onde ocorrem secas prolongadas (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar as diferenças existentes entre áreas de manguezal e da transição manguezal/floresta secundária com relação aos atributos químicos do solo e a composição química de folhas de *Rhizophora mangle* L. e de folhas da serapilheira nas épocas do ano chuvosa e de estiagem na região do salgado paraense.

### 2.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência do Eh, pH e salinidade do solo na diferenciação desses ambientes;
- Identificar interações entre os nutrientes do solo, das folhas de *Rhizophora mangle* L. e das folhas da serapilheira nas duas áreas;
- Verificar diferenças nos nutrientes dos dois ambientes na época mais chuvosa e na época de estiagem da região.

### 3. HIPÓTESE

As áreas de transição apresentam menores teores de nutrientes comparadas às áreas do manguezal de franja tanto no solo quanto nas folhas de *Rhizophora mangle* L. e folhas da serapilheira por serem naturalmente zonas de estresse, menos atingidas pelas marés e mais sujeitas aos efeitos da variação do clima.



## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Os Manguezais

Um dos mais importantes ecossistemas do ponto de vista socioambiental os manguezais são ecossistemas litorâneos de regiões tropicais e subtropicais encontrados em áreas abrigadas da ação direta das ondas como estuários, lagunas, deltas e baías, e formados por espécies vegetais halófitas e adaptadas a um substrato constantemente inundado pelas marés. Estes são uns dos ecossistemas de maior produtividade primária e desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes e na exportação de nutrientes para as zonas costeiras adjacentes (FAO, 2007; KAMRUZZAMAN et al., 2012; MARTINS; COUTO; DELABIE, 2011).

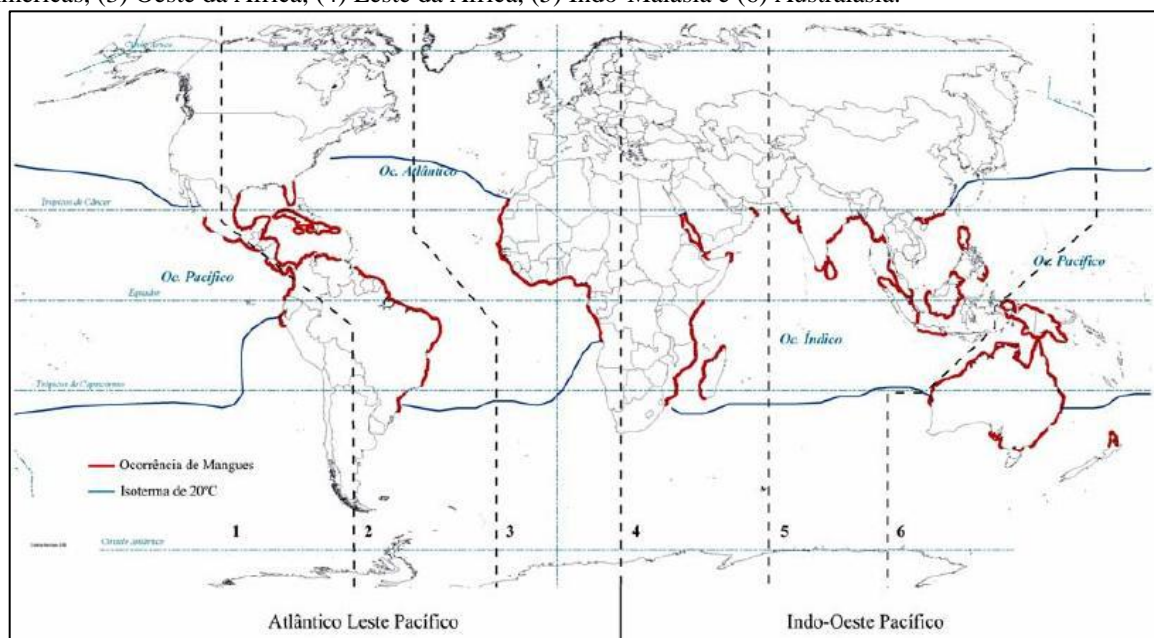
Esse ecossistema por suas peculiaridades desperta a curiosidade humana desde há muito tempo. Existem referências as plantas de mangue datadas de 325 a.C. pelo Relatório do General Nearco, quando acompanhou Alexandre Magno em suas campanhas desde o Delta do Indo ao Golfo Pérsico. Nas Américas o relato mais remoto data de 1526, quando Oviedo fez a primeira descrição desses ecossistemas na obra “História Geral e Natural das Índias”, enquanto que no Brasil Gabriel Soares de Souza, um historiador português, fez uma das mais antigas referências sobre os manguezais brasileiros em sua obra “Trabalho descritivo do Brasil” (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Vanucci (2002) aponta que o Senegal é a provável origem do termo “mangue” e que coube aos portugueses que adotaram o nome de origem senegalesa difundir pelo mundo a partir do século XV. Bernini (2008) acrescenta que o termo “mangue” define tanto o conjunto de árvores quanto cada uma das espécies que compõem a cobertura vegetal, enquanto que, segundo Rossi e Mattos (2002), o termo “manguezal” ou “mangal” é utilizado para definir toda a comunidade ou o ecossistema. Portanto, mangue é um termo não taxonômico utilizado para se referir a um conjunto de vegetais adaptados a um ambiente salino e frequentemente inundado, e manguezal é o termo para se referir ao ecossistema formado por essa comunidade vegetal e toda a fauna, fatores abióticos e flora associada a esse tipo de vegetação e adaptados às condições desse ambiente.

#### 4.1.1 Distribuição dos manguezais e fatores abióticos

Conforme ilustra a Figura 1, os manguezais estão distribuídos em quase todos os continentes, alcançando um desenvolvimento ótimo nas regiões compreendidas entre os paralelos 23° 30' N e 23° 30' S (Trópicos de Câncer e de Capricórnio), principalmente quando próximo ao equador, mas podem ocasionalmente se estender até latitudes de aproximadamente 32° N e 39°S. Quando localizados em latitudes mais altas ocorrem bosques de pequena estrutura (ALMEIDA, 1996a; SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Figura 1- Mapa da distribuição dos mangues pelo mundo e a sua divisão: (1) Oeste das Américas, (2) Leste das Américas, (3) Oeste da África, (4) Leste da África, (5) Indo-Malásia e (6) Australásia.



Fonte: Maia et al. (2005).

A distribuição biogeográfica dos manguezais em escala global pode ser dividida em dois grandes grupos, os manguezais do Velho Mundo (ou região Indo-Pacífica) e os manguezais do Novo Mundo. A região Indo-Pacífica é considerada o centro de origem das espécies de mangue por apresentar maior riqueza de espécies em relação ao resto do mundo (BERNINI, 2008; TOMLINSON, 1986; YOKOYA, 1995). Para Bernini (2008) e Quiñones (2000) o que todas essas áreas têm em comum é que apresentam os principais fatores que permitem o estabelecimento dos manguezais e governam sua existência, sejam eles:

1. Temperatura do ar: as florestas de mangue se desenvolvem melhor onde a temperatura média do mês mais frio seja acima de 20°C e que a amplitude térmica não ultrapasse 5°C;
2. Correntes oceânicas: os mangues se desenvolvem bem em regiões atingidas por correntes quentes;
3. Áreas abrigadas: área protegidas das ações fortes das ondas que podem impedir o estabelecimento de diásporos;
4. Litorais com pouca declividade: para permitir uma maior penetração das marés;
5. Água salina: possibilita vantagem na competição com plantas intolerantes a salinidade;
6. Substrato lodoso: os manguezais conseguem se desenvolver sobre areia e rocha coralina, mas seu desenvolvimento ótimo acontece em solos lodosos ricos em matéria orgânica;
7. Amplitude das marés e etc.

Mendoza (2007) nota que no mundo os manguezais possuem uma extensão de 181.000 km<sup>2</sup>, dos quais 23.800 km<sup>2</sup> estão localizados na América do Sul, onde 10.713 km<sup>2</sup> é a área estimada somente da costa norte do Brasil nos estados do Pará, Amapá e Maranhão. Na Tabela 1 é possível observar e comparar a área dos manguezais brasileiros com diversos países em uma estimativa realizada em 1997.

As diferenças encontradas nas estimativas podem ser atribuídas aos diferentes tipos de metodologias empregadas (resoluções espaciais diversificadas), à inclusão de áreas de ecossistemas costeiros adjacentes e às perdas das áreas de mangue dentre outras (BERNINI, 2008).

Tabela 1- Áreas de manguezal estimadas por país e o percentual em relação à área total de manguezais no mundo.

Países	Área de manguezal – km <sup>2</sup> (estimativa de 1997)
Indonésia	42.550 (23,5%)
Brasil	13.400 (7,4%)
Austrália	11.500 (6,4%)
Nigéria	10.515 (5,8%)
Cuba	7.848 (4,33%)
Papua Nova Guiné	5.399 (2,94%)
México	5.315 (2,93%)
Total (em relação ao mundo)	96.527 (53,3%)

Fonte: Adaptado de Souza Filho (2005).

#### 4.1.2 Classificação fisiográfica

Uma classificação dos bosques de mangue em 5 tipos fisiográficos foi desenvolvida por Lugo e Snedaker (1974) com base em diferenças na topografia, regime hidrológico superficial e salinidade. Este sistema de classificação vem sendo adotado por diversos autores no Brasil e no mundo (ANDRADE, 2011; BERNINI, 2008; FRUEHAUF, 2005; GILMORE JR.; SNEDAKER, 1993; LUGO, 1980; MENDOZA, 2007; REIS, 2013). Os cinco tipos fisiográficos de bosque de mangue (em português) são: Franja, Ribeirinho, Bacia, Ilhote e Anão. Abaixo segue a descrição de cada um deles e a sua representação na Figura 2:

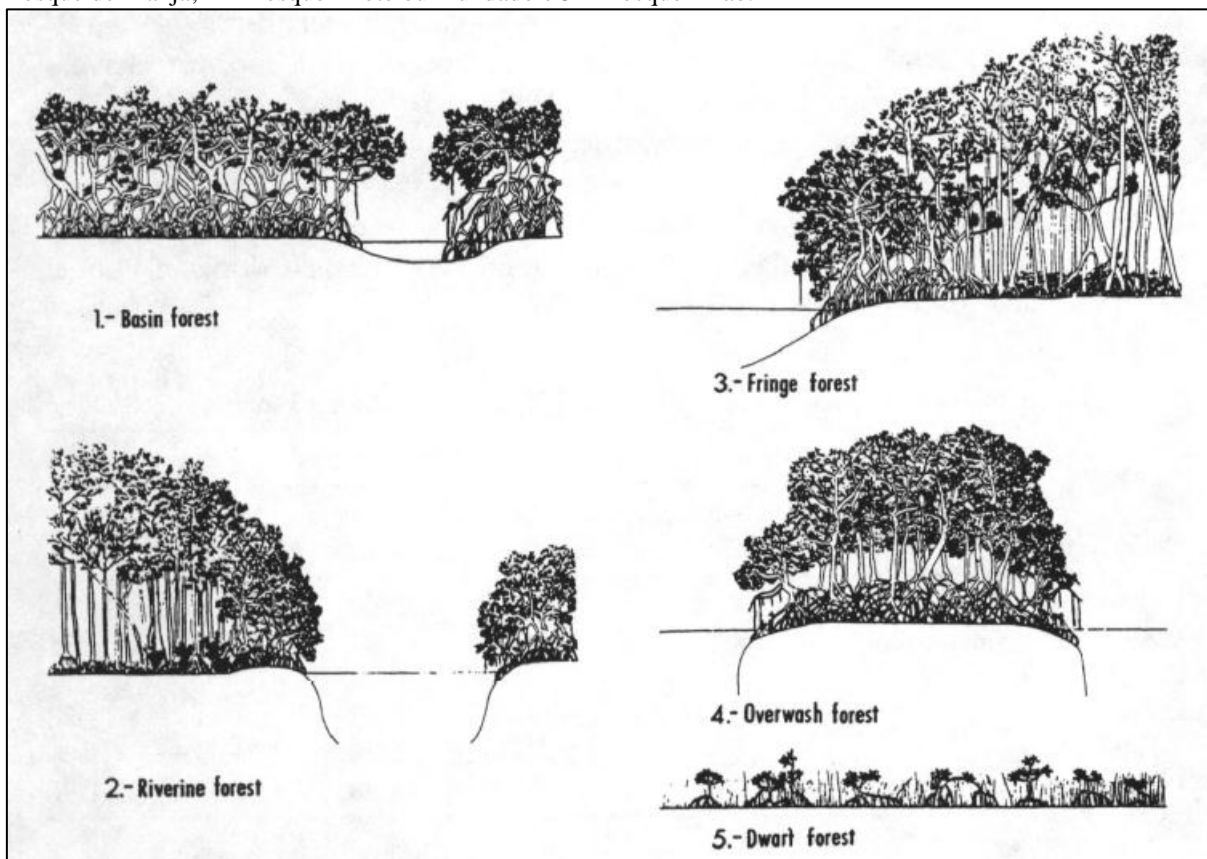
1. Bosque de Franja: este tipo de bosque se desenvolve margeando costas protegidas; forma típica de vegetação das costas baixas, geralmente matas de ilhas; está mais submetido às flutuações diárias das marés, por isso minimizando a formação de fortes gradientes físico-químicos; apresentam características estruturais dependentes da quantidade de nutrientes; em geral são monoespecíficos ou colonizados nas bordas por *R. mangle* e no interior por *Avicennia* spp. ocorre alta deposição de matéria orgânica e sedimentos finos devido a correntes hídricas pouco intensas; casualmente alta salinidade.
2. Bosque Ribeirinho: o bosque do tipo ribeirinho é aquele que ocorre ao longo de rios e estuários. Este tipo apresenta as árvores mais altas e de maior

produtividade primária devido ao intenso fluxo de água que traz os nutrientes carregados das bacias que estes rios drenam; eles são inundados diariamente pelas marés. Durante a estação chuvosa há um aumento do nível da água e uma consequente diminuição da salinidade devido ao aumento do escoamento superficial; *R. mangle* é a espécie mais favorecida pelas suas adaptações específicas.

3. Bosque de Bacia: este tipo se estabelece nas partes mais internas, atrás dos bosques Ribeirinhos ou de Franja, e por isto tem a renovação da água de forma mais lenta e fluxos regulares que possibilitam maior regularidade nas condições físicas e químicas do sedimento, levando a uma seleção de espécies para estabelecimento de uma zonação definida. O grau de desenvolvimento depende da magnitude da drenagem e da frequência de inundação. *Avicennia* e *Laguncularia* são mais comuns devido às adaptações à alta salinidade e menores frequências de inundação. O bosque pode ser monoespecífico, enquanto que *Rhizophora* é encontrada geralmente nas proximidades de canais ou depressões mais acentuadas.
4. Bosque Ilhote ou Inundado: muito semelhantes aos bosques de franja, estes são os bosques de mangue que formam pequenas ilhas baixas completamente inundadas frequentemente a cada ciclo de maré.
5. Bosque Anão: forma típica de vegetação nos solos calcários e nas zonas áridas com arbustos esparsos; alta salinidade superior a 60%. É formado por árvores relativamente velhas (cerca de 40 anos) e de baixa estatura (em torno de 1,5 m) possivelmente limitadas pela falta de nutrientes e alta salinidade.

Schaeffer-Novelli et al. (1990) dividiram a costa brasileira em 8 segmentos ou unidades fisiográficas baseados em características ambientais (relevo, tipo de solo, cobertura vegetal) e nos valores das temperaturas médias anuais, evapotranspiração potencial e amplitude das marés. Todos esses fatores atuam no ecossistema manguezal atribuindo-lhes suas características tanto funcionais como estruturais. As 7 Unidades Fisiográficas da costa brasileira que apresentam florestas de mangues, de acordo com Schaeffer-Novelli et al. (1990), são:

Figura 2 - Representação dos tipos fisiográficos de manguezal 1 = Bosque de Bacia; 2 = Bosque Ribeirinho; 3 = Bosque de Franja; 4 = Bosque Ilhote ou Inundado e 5 = Bosque Anão.



Fonte: Gilmore Jr. e Snedaker (1993).

- Unidade I – do Cabo Orange no Oiapoque ( $04^{\circ}20'N$ ) ao Cabo Norte no Delta do Amazonas ( $01^{\circ}42'N$ ): a costa do Amapá formada por um cinturão contínuo de manguezais dominados por siriúbas (*Avicennia* spp.), com árvores alcançando de 15 a 30 m de altura;
- Unidade II – do Cabo Norte ( $01^{\circ}42'N$ ) a Ponta Curuçá no Pará ( $00^{\circ}36'S$ ): O Golfão Amazônico onde os mangues ocorrem esparsamente na parte mais externa, principalmente nas ilhas, devido à descarga de água doce do Rio Amazonas;
- Unidade III – de Ponta Curuçá ( $00^{\circ}36'S$ ) a Ponta Mangues Secos no litoral do Maranhão ( $02^{\circ}15'S$ ): o litoral de “rias” recortado por estuários e reentrâncias formando a maior área contínua de mangues do Brasil. As franjas dos bosques são dominadas por *Rhizophora* spp, com 20 m de altura, sendo que *Avicennia* e *Laguncularia* ocupam as porções mais elevadas dos terrenos;
- Unidade IV – de Ponta Mangues Secos ( $02^{\circ}15'S$ ) ao Cabo Calcanhar ( $05^{\circ}08'S$ ): englobando parte do litoral do Maranhão e os litorais do Piauí, Ceará e Rio Grande do

Norte é uma costa árida que condiciona os manguezais a existirem somente nos estuários dos rios perenes;

- Unidade V – de Cabo Calcanhar (05°08'S) ao Recôncavo Baiano (13°00'S): os manguezais só se desenvolvem em áreas mais protegidas como em estuários e lagunas costeiras devido a alta energia das ondas. Os gêneros *Rhizophora* e *Laguncularia* aparecem como pioneiros. Nas partes mais internas, indivíduos de *Avicennia* e *Laguncularia* formam bosques mistos com mais de 10 m de altura;
- Unidade VI – do Recôncavo Baiano (13°00'S) ao Cabo Frio (23°00'S): largas florestas de mangue são encontradas atrás das praias barreiras. *Laguncularia* é referida como dominante na Baía. *Rhizophora* é encontrada formando finas franjas, embora seja mais dominante com bosques monoespecíficos nos tipos franja e bacia.
- Unidade VII – de Cabo Frio (23°00'S) a Laguna (28°30'S): considerada uma das mais estudadas, essa unidade apresenta um gradiente estrutural, com os indivíduos mais altos margeando estuários, canais e à jusante de alguns rios. *Rhizophora*, *Laguncularia* e *Avicennia* formam bosques mistos ou monoespecíficos.

A Unidade VIII não apresenta florestas de mangue e é formada por praias e dunas baixas que protegem uma série de lagunas longas e rasas.

#### 4.1.3 Importância socioambiental, impactos e fragilidades

##### 4.1.3.1 Função ecológica

O homem vem ao longo dos anos destruindo e transformando as áreas de manguezais por desconhecer a grande importância que esses ecossistemas possuem para a manutenção de bens e serviços ambientais. São várias as funções ecológicas do manguezal, mas a mais citada delas é a alta produtividade primária que chega a ser excedente e que pode ser atribuída a presença de todos os tipos de produtores (desde árvores, gramíneas até fitoplâncton) e o poder de auto enriquecimento do sistema pela rápida retenção e reciclagem de nutrientes. Dessa forma geram mais energia do que é necessário, pois a fotossíntese excede a respiração, propiciando a exportação de nutrientes e detritos pelas marés para toda a zona costeira (QUIÑONES, 2000).

Fruehauf (2005) cita como as principais funções ecológicas do manguezal as seguintes:

- Servir como área de abrigo, alimentação, reprodução e desenvolvimento de espécies marinhas, estuarinas, terrestres e límnicas;
- Contribuir para a manutenção da diversidade costeira;
- Proteger a linha de costa da ação erosiva das marés, das brisas costeiras, tempestades e furacões, e do conseqüente assoreamento dos corpos d'água adjacentes;
- Funcionar como filtro natural de contaminação através da absorção e imobilização de elementos tóxicos, impedindo que alcancem outras zonas da costa (o que pode representar maior fragilidade destes ecossistemas).

Pellegrini (2000) e Quiñones (2000) acrescentam que os manguezais representam a base de inúmeras cadeias alimentares detriticas, das águas costeiras adjacentes, devido às altas taxas de produção de detritos.

Uma importante função ecológica dos manguezais esta relacionada ao fato de abrigarem além de suas espécies de fauna características, aquelas que migram durante a fase reprodutiva, como algumas espécies de aves (FERREIRA, 2002). Tal função é tão relevante que a Convenção Ramsar, a qual possui o Brasil como signatário, trata da proteção das zonas úmidas, sítios em que as aves aquáticas são ecologicamente dependentes. A Convenção entrou em vigor no Brasil pelo Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996 (GRANZIERA, 2009).

Além de serem reconhecidos como zonas úmidas de importância internacional pela Convenção Ramsar, os manguezais no Brasil através do antigo Código Florestal (Lei n. 4.771 de 1965) e da Resolução nº 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002) começaram a ser tratados como Áreas de Preservação Permanente – APP, que são áreas protegidas e definidas como:

Área protegida nos termos dos arts. 2º e 3º [...], coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Lei nº 4.771/65, art. 1º, § 2º, II. Com a redação dada pela MP nº 2.166-67/01).

Todavia, o Novo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651 de 2012) em seu Art. 8 autoriza a supressão da vegetação de manguezal nas áreas em que a função ecológica do



manguezal esteja comprometida para obras de habitação, urbanização e para regularização fundiária, ao invés de propor a recuperação ambiental desses ambientes. Também ficam legalizadas todas as atividades agropastoris em manguezal e de carcinicultura em apicum que estavam em vigor antes da data de 22 de julho de 2008 pelos Art. 61, Art. 63 e Art. 11. Isso representa um retrocesso na proteção desses ecossistemas e a legalização dos desmatamentos em manguezais (REIS, 2013).

#### 4.1.3.2 Relevância sociocultural

A relação do homem com os manguezais é de longa data e de muita representatividade histórica. Na Amazônia, por exemplo, já no Holoceno os primeiros grupos humanos se estabeleceram em locais favoráveis a captação de recursos alimentares, ambientes localizados principalmente no estuário e na costa amazônica. Acredita-se que a ocupação humana na costa amazônica se deu mais tardiamente do que no Baixo Amazonas (no primeiro a ocupação teria se dado entre 6000 e 3000 anos AP e no segundo a cerca de 7600 anos AP), porém essa ocupação tardia do litoral possa dever-se a possibilidade de que sítios mais antigos possam estar submersos, devido às flutuações do nível do mar que ocorreram durante a transição do Pleistoceno para o Holoceno (SILVEIRA; SCHANN, 2010).

Estes sítios arqueológicos evidenciam a ocupação humana permanente do litoral há mais de 5000 anos que muito se deve a capacidade dos manguezais de apresentar recursos alimentares muito concentrados e facilmente coletáveis. Os sambaquis são grandes testemunhos arqueológicos que evidenciam a relevância dos manguezais para os mais antigos grupos humanos tanto no estuário amazônico como em todo litoral brasileiro (FERNANDES, 2005; TENÓRIO, 1996).

Na América pré-colombiana é visível a importância desses ecossistemas na configuração social das primeiras populações que se estabeleceram na costa. Mas os manguezais vêm sendo fonte de interesse pelo homem desde muito tempo pelo mundo todo. Vanucci (2002) cita como Eratóstenes, Nearco e Plínio e outros autores antigos do Mediterrâneo ficaram impressionados com a aparência das florestas “que cresciam sobre o mar”.

Na costa amazônica, assim como na costa brasileira, os manguezais também despertaram interesse de historiadores. Um exemplo da importância histórica dos manguezais pode ser observado na costa do Maranhão, em que um frei capuchinho naturalista francês, Claude d'Abbeville, descreveu os manguezais maranhenses pela primeira vez referindo-se a

eles como *apparituriers*, ou florestas marinhas. Também foram ecossistemas que atuaram decisivamente em batalhas pela retomada portuguesa das terras maranhenses que estavam sob domínio francês (REBELO-MOCHEL, 2011).

No período colonial em geral os manguezais não foram muito valorizados por não serem terras produtivas. No aspecto agrícola, por exemplo, os manguezais foram considerados pelos colonizadores europeus como terras inúteis, até que começaram a utilizar os solos de manguezais da costa do Konkan, em Goa, na Índia, como fertilizantes (FIRME, 2003). O Rei D. José ao perceber a importância dos manguezais para retirada de madeira, lenha e tanino usado em curtumes, e que a exploração de madeira se acentuara, proibiu o corte de árvores de mangue que não tivessem tido sua casca previamente utilizada para tanino, por meio de um alvará com força de Lei em 1760 (FRUEHAUF, 2005).

No Maranhão a importância da extração do tanino dos manguezais para a história local teve grande valor. Entre os séculos XVIII e XX, a partir do uso das cascas e do lenho das árvores de mangue, geraram-se alguns períodos de opulência e de modernidade. Foi implantado no início do século XIX no estuário do rio Bacanga o maior complexo fabril de curtimento de couros da América do Sul em que as cascas das árvores de mangue forneciam praticamente todo o tanino usado no processo. Este couro era o mais valioso dos produtos, com preço superior ao arroz e algodão (REBELO-MOCHEL, 2011).

Os usos humanos do manguezal podem ser classificados em usos diretos e usos indiretos. Os usos indiretos são os serviços ambientais prestados pelo ecossistema que por si só já se valem pela preservação da biodiversidade funcional, por exemplo, a manutenção dos estoques pesqueiros. Os usos diretos são aqueles que envolvem consumo de recursos como, por exemplo: extração de madeira para uso como lenha, na construção de cercados, produção de carvão; extração de tanino; coleta de caranguejo, siris, ostras, sururus, mariscos; produção de mel; exploração de epífitas e etc. (PELLEGRINI, 2000).

Bastos (1995) descreve que no litoral paraense as comunidades pesqueiras, além de terem o mar e os rios como fonte de recursos, utilizam também vários produtos de origem vegetal na alimentação, na medicina caseira, na confecção de currais e barcos, e na obtenção de carvão, tintas e resinas para calafetagem de embarcações e etc. Desse modo, através de um contato permanente ao longo dos anos, o homem acumulou conhecimentos e rica experiência sobre os recursos do manguezal. Isso propiciou uma elevada especificação dos artefatos de pesca típicos e das práticas de captura e manejo dos estoques, que foram especialmente desenvolvidos e aprimorados para o uso do manguezal.

As principais ocupações humanas da costa amazônica são formadas principalmente por populações pesqueiras tradicionais que tem no pescado, caranguejo, camarão e outros mariscos sua fonte básica de proteína e também uma fonte de renda através da comercialização em mercados locais, regionais e em alguns casos internacionais (PROST et al., 2005).

Nessa região do Salgado Paraense são desenvolvidas duas atividades econômicas de grande importância local: o turismo e a pesca. A pesca artesanal é uma atividade a muito difundida na região e os mangues são o local de reprodução desses estoques de recursos pesqueiros, todavia está ocorrendo uma mudança social nesses municípios em que os pescadores artesanais locais estão migrando para outras atividades crescentes na região, como o turismo, seja por certa escassez do recurso pesqueiro ou pela atratividade exercida por estes novos ramos (ADRIÃO, 2006; FERRO, 2010).

#### 4.1.3.3 Impactos antrópicos/naturais e ameaças aos manguezais

Embora seja um ecossistema protegido por tratados, convenções, leis e resoluções e possuir grande importância ecológica, econômica, social e cultural, o manguezal é um dos ecossistemas mais ameaçados devido à ação de agentes que têm causado a eliminação de grandes áreas desse ecossistema (BERNINI, 2008).

Historicamente os manguezais foram classificados por alguns naturalistas e entidades governamentais como áreas de pouca salubridade, sem utilidade para a agricultura e fonte potencial de doenças transmitidas pelos insetos que tem esse ecossistema como habitat, por isso o destino dos manguezais quase sempre foi ser drenado e aterrado para outros usos (FRUEHAUF, 2005). O que gerou uma cultura de desvalorização desses ambientes provocando perdas de grandes áreas de manguezais motivados por tensões de origem antrópica, como a implantação de indústrias, a pressão do mercado imobiliário, a construção de obras civis como portos e marinas, a expansão urbana, uso e ocupação irregular do solo, dentre outros (QUIÑONES, 2000).

Os principais aspectos ambientais a que os manguezais estão sujeitos e os seus respectivos impactos ambientais gerados segundo Fruehauf (2005) estão listados abaixo:

- Desmatamento: aceleração do processo de erosão, diminuição da quantidade de espécies vegetais e animais, alteração do regime hídrico e conseqüente incremento da salinidade dos solos;

- Aterramento: redução do ecossistema, diminuição da capacidade de retenção de águas superficiais, interferência na regeneração e diminuição da disponibilidade de recursos naturais;
- Lançamento de efluentes: alteração das propriedades físico-químicas, eutrofização das águas, incremento da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), contaminação por patógenos e por metais tóxicos;
- Derramamento de petróleo: mortalidade de espécies aquáticas como os filtradores, diminuição dos recursos pesqueiros, contaminação por metais tóxicos e compostos orgânicos tóxicos;
- Caça e pesca irregular: perda seletiva de espécies, alteração da cadeia alimentar, diminuição dos estoques pesqueiros.

Alguns impactos ambientais no manguezal podem ter origem natural. As principais causas de impacto ambiental de origem natural segundo Bernini (2008) são elevação do nível do mar, furacões, tempestades, geadas, mudanças na trajetória de rios e hipersalinidade. Já Chi (2012) cita o fogo de origem natural, insetos e patógenos (herbivoria), distúrbios do solo (processos geomorfológicos) além dos eventos climáticos e eventos extremos.

Ao se falar em ecossistemas costeiros há que se ressaltar a grande vulnerabilidade a que estes estão sujeitos diante das mudanças climáticas globais, principalmente porque alterações ambientais resultantes da ação humana em nível local ou regional podem ser maximizadas ou minimizadas por impactos causados por mudanças globais, tornando difícil a identificação dos principais agentes causadores de um dado impacto (LACERDA et al., 2006).

No que se trata aos ecossistemas costeiros, estes são extremamente vulneráveis as mudanças do clima global, principalmente pela ameaça de aumento do nível médio do mar (mean sea level – msl). Um aumento do nível médio do mar pode ter como resposta uma retração e expansão lateral dos manguezais, mas esta expansão pode ser limitada pela presença de falésias e penhascos ao longo da costa e dos estuários, como é o caso da costa paraense (MUEHE, 2010).

Além do aumento do nível médio do mar, as mudanças climáticas também podem afetar os processos biogeoquímicos do solo e das plantas pelo aumento nos níveis de CO<sub>2</sub>, temperaturas muito altas e maior frequência de tempestades. Isso afetará significativamente a

fisiologia dos mangues, as funções ecossistêmicas e a ciclagem e disponibilidade de nutrientes (REEF; FELLER; LOVELOCK, 2010).

A Costa Norte do Brasil ainda se encontra bastante íntegra com relação aos seus manguezais já que até pouco tempo era explorada por pequenas comunidades pesqueiras tradicionais de maneira sustentável, todavia, começa a surgir (principalmente próximo das maiores aglomerações humanas) o turismo predatório seguido da especulação imobiliária e a abertura de rodovias, levando à devastação de manguezais e restingas, não só por aterramento como pela extração de madeira e areia das dunas para construção civil (BASTOS, 1995).

Para o litoral paraense, Almeida (1996b) lista como principais atividades impactantes a abertura de estradas, extração massiva e seletiva de madeira, aterros para loteamentos, sobrecoleta de crustáceos e mariscos, disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e remoção do sedimento.

#### **4.2 Solos de manguezais**

O solo de manguezal está sujeito a certas condições ambientais que lhe atribui algumas características que são determinantes na disponibilidade ou não de nutrientes. Estes solos são caracterizados por serem salinos, anóxicos, frequentemente inundados e muito ricos em matéria orgânica, em grande parte proveniente da serapilheira (REEF, FELLER, LOVELOCK, 2010). Essas características peculiares os distinguem dos outros tipos de solo e os tornam de difícil classificação.

No entanto, alguns trabalhos vêm classificando os solos de mangue que antes eram tidos como solos indiscriminados, como Gleissolos Tiomórficos, Gleissolos Sálcos e Organossolos, cujas principais características são o hidromorfismo com presença de sais, apresentando tiomorfismo e acúmulo de matéria orgânica (GOMES, 2002; PRADA-GAMERO; VIDAL-TORRADO; FERREIRA, 2004; VIDAL-TORRADO et al., 2005).

A disponibilidade de nutrientes nos solos dos manguezais aparenta ter uma relação com as propriedades físico-químicas deste solo, como o pH, o potencial redox (Eh) e a salinidade, que são influenciados pelas condições hidrológicas do manguezal (regime de marés, precipitação, escoamento superficial, drenagem e etc.). Vários estudos apontam para essa relação e indicam que essas propriedades físico-químicas alteram a disponibilidade desses nutrientes para a vegetação (AHMED et al., 2010; BERNINI et al., 2006; BERNINI; REZENDE, 2010; CRUZ et al., 2013; CUZZUOL; CAMPOS, 2001).

Para Reef, Feller e Lovelock (2010) o potencial de oxirredução determina a disponibilidade de nutrientes para a absorção das plantas e esse estado redox do solo pode variar muito ao longo do manguezal principalmente devido à rizosfera, uma região próxima às raízes onde pode ocorrer liberação de oxigênio, facilitando a ocorrência de vários processos biogeoquímicos.

A inundação nos manguezais é responsável por importantes alterações físico-químicas, que podem causar a queda do potencial redox, aumento do pH, alterações na dinâmica de ferro e enxofre propiciando a formação da pirita ( $\text{FeS}_2$ ), etc. A inundação também confere redução de cerca de 10.000 vezes na taxa de difusão do oxigênio no solo, que é muito inferior à demanda microbiana para decomposição da matéria orgânica. Micro-organismos anaeróbios são agora os responsáveis por decompor a matéria orgânica em função de outros receptores de elétrons que não o  $\text{O}_2$ , seguindo-se a seguinte sequência termodinâmica:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$  (metanogênese),  $\text{N}_2$  e  $\text{H}^+$  (FERREIRA, 2006).

A redução do sulfato, a produção do metano e a desnitrificação são importantes processos envolvidos na remoção terminal do elétron durante a decomposição da matéria orgânica em ambientes anóxicos (DAS et al., 2012). Esse processo pode significar perdas de nutrientes ou então transformação em formas não assimiláveis pela vegetação.

Em Marapanim, município localizado na Costa Paraense, estudos demonstram que as propriedades físico-químicas do solo são em parte responsáveis pela formação de minerais neoformados como a pirita ( $\text{FeS}_2$ ) e a jarosita ( $\text{K}_2\text{Fe}_6(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_4$ ) que são dependentes das condições de pH e Eh e que a sazonalidade climática exerce influência no controle dessas propriedades alterando a química e a mineralogia do solo de um período para outro. O que significa a ocorrência de uma alteração sazonal dessas propriedades na Costa Norte do Brasil e conseqüentemente na disponibilidade dos nutrientes (BERRÊDO; COSTA; PROGNE, 2008; BERRÊDO et al., 2008).

### **4.3 Nutrição mineral da flora dos manguezais**

#### **4.3.1 Espécies vegetais típicas de manguezais**

Mangue é o nome dado as diferentes espécies da flora que compõem esse ambiente costeiro, adaptadas às condições de salinidade, solos anóxicos e frequência de inundação. De acordo com Tomlinson (1986) para ser designada como “mangue verdadeiro ou mangue

estrito/típico”, uma espécie precisa se enquadrar nos seguintes critérios: 1) Fidelidade completa ao manguezal, ou seja, ocorrer apenas nesse ambiente nunca ocorrendo em outros ecossistemas terrestres; 2) Ter um papel importante na estrutura da comunidade podendo estabelecer bosques monoespecíficos; 3) Possuir especialização morfológica para se adaptar ao seu habitat típico; 4) Possuir especialização fisiológica para se adaptar ao seu habitat típico; 5) Possuir isolamento taxonômico de seus parentes terrestres.

Com relação às plantas arbóreas exclusivas de mangue, no litoral brasileiro são encontrados basicamente três gêneros (*Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*) e seis espécies (*R. mangle*, *R. racemosa*, *R. harisonii*, *A. schaueriana*, *A. germinans* e *L. racemosa*) (FRUEHAUF, 2005). As principais espécies encontradas na Costa Amazônica são *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae), *Avicennia germinans* (L.) L. (Avicenniaceae) e *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. (Combretaceae), as outras ocorrendo com menor frequência (MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008). Essas espécies serão descritas a seguir.

- *Rhizophora mangle* L.: da família botânica Rhizophoraceae, conhecida por “mangue vermelho” ou “mangueiro”. Apresenta como característica peculiar o sistema de sustentação com a presença de raízes-escora (rizóforos) e as raízes adventícias que partem dos galhos. Seus propágulos são vivíparos, ou seja, germinam ainda presos na árvore mãe (FRUEHAUF, 2005).

Almeida (1996b) mostra que os principais usos desta espécie pelas populações da Costa Norte do Brasil, no litoral Amazônico, são: a utilização da madeira como lenha e carvão, peças de madeira em forma de caibros, tábuas e ripas usadas em construções rurais, casebres, tapiris, cercas e currais de peixes; a utilização do tanino para o tingimento de redes de pesca e pano de velas de pequenas embarcações, uso como chás contra diarreia e in-natura contra hemorragia.

- *Avicennia germinans* (L.) Stearn: da família botânica Avicenniaceae é o “mangue preto” ou “siriúba”. É mais tolerante a alta salinidade do que as demais espécies e suas raízes radiais emitem prolongamentos com geotropismo negativo, os pneumatóforos que facilitam as trocas gasosas no ambiente pobre em oxigênio (FIRME, 2003).

Os usos da siriúba pelas populações da costa amazônica são semelhantes aos da espécie *Rhizophora mangle* para a madeira, no entanto, mesmo essa espécie possuindo madeira de melhor qualidade para ser trabalhada pelos carpinteiros, seu uso é menor na região do salgado paraense porque a sua abundância é reduzida nessa região comparada ao mangue vermelho (ALMEIDA, 1996b).

- *Laguncularia racemosa* Gaertn: pertencente à família botânica Combretaceae, também é conhecida como “mangue branco” ou “tinteira”. Apresenta pneumatóforos, que consistem em raízes aéreas que permitem, através das lenticelas, a realização de trocas gasosas e a consequente aeração do sistema radicular (ANDRADE, 2011).

O mangue branco possui utilização mais restrita para as populações do Nordeste Paraense, apenas servindo de caibros de fina espessura para teto de habitações (ALMEIDA, 1996b).

Existem também espécies associadas como o *Acrostichum aureum* L., a samambaia do mangue, *Conocarpus erectus* L., o Mangue-de-botão, e *Spartina alterniflora* Loisel, o capim praturá, dentre outras (PROST; MENDES, 2001).

#### 4.3.2 O mangue vermelho (*Rhizophora mangle* L.)

O mangue vermelho ou mangue verdadeiro é uma árvore de casca lisa e clara que ao ser raspada mostra uma cor avermelhada. Essa árvore apresenta um sistema radicular muito característico formado por rizóforos que partem do tronco e dos galhos em formato de arco e ramificam-se no solo para garantir uma melhor sustentação da árvore num solo lamoso e pouco consolidado (SUGIYAMA, 1995).

A família botânica Rhizophoraceae é representada por 16 gêneros e por cerca de 120 espécies das quais 3 ocorrem na Costa Amazônica: *Rhizophora mangle* L., *Rhizophora racemosa* G. F. W. Meyer e *Rhizophora harrisonii* Leechman. Sendo *R. mangle* a espécie mais largamente distribuída abrangendo toda a costa brasileira até Santa Catarina (LIMA; PAOLI; GIRNOS, 2005; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008).

Geralmente *Rhizophora mangle* é dominante em regiões mais próximas ao oceano, zonas mais baixas e nas margens dos canais e também é a espécie mais tolerante a salinidade em relação as outras duas espécies do seu gênero (BERNINI, 2008; LIMA; PAOLI; GIRNOS, 2005; MENEZES; BERGER; MEHLIG, 2008).

As árvores do gênero *Rhizophora* tem melhor desenvolvimento em solos siltosos, inundados por água salobra e protegidos da ação direta das ondas. Os solos que sustentam esse tipo mangue apresentam valores de pH elevados, alta relação C/N e elevados teores de nutrientes, principalmente os relacionados a matéria orgânica (ANDRADE, 2011).



### 4.3.3 Nutrição mineral dos mangues

O estado de nutrição mineral das árvores de mangue ainda é pouco conhecido e merece ser mais estudado devido ao controle que esses nutrientes quando deficientes tem de limitar o crescimento dessas florestas. Fatores ambientais, potencial de absorção de nutrientes e disponibilidade de nutrientes no solo são os principais mecanismos controladores dos nutrientes nos vegetais (AHMED et al., 2010).

De acordo com Fry e Cormier (2011) em alguns casos a composição química das folhas de mangue parece seguir o mesmo padrão da química do solo, mas em muitos casos ocorre que as arvores de mangue conseguem manter uma química constante mesmo que se tenha grande variação nas condições do solo, conseguindo assim por um processo de seleção otimizar o seu crescimento.

Cuzzuol e Rocha (2012) afirmam que as concentrações de nutrientes minerais na vegetação de ecossistemas costeiros estão sujeitas a variações devido a fatores ambientais como frequência de inundação pelas marés, velocidade das correntes e aporte de água doce dos rios. Para eles a sazonalidade do regime fluvial e pluvial pode interferir na disponibilidade de elementos minerais e alterar a absorção e partição dos elementos minerais nas plantas e nas propriedades físico-químicas do solo.

Além disso, as plantas podem influenciar os processos do solo principalmente através da serapilheira. Portanto alterações na química foliar dos manguezais podem significar alterações e/ou importantes implicações na interação solo-planta-serapilheira e nas funções ecossistêmicas (LIN et al., 2009).

### 4.3.4 Ciclagem de nutrientes via serapilheira

Os manguezais são considerados um dos mais produtivos ecossistemas do globo e a produção de serapilheira é um importante componente dessa produtividade primária dos mangues, tendo em vista o papel que possuem para os ecossistemas estuarinos adjacentes. A produção de serapilheira do mangue consiste principalmente de folhas que se tornam alimento disponível para consumidores e decompositores (KAMRUZZAMAN et al., 2012).

Coronado-Molina et al. (2012) afirmam que a produção de serapilheira tem sido usada como medida de produtividade primária devido ao seu papel como fonte primária de energia

para consumidores e decompositores, sua contribuição para a fertilidade do solo e seu papel nas transformações biogeoquímicas e ciclagem de nutrientes.

Os autores supracitados assumem que em geral, em escala global, a temperatura pode ser considerada o principal fator controlador da distribuição dos manguezais pelo mundo e de sua produtividade, incluindo a produção de serapilheira que geralmente é mais alta próxima ao equador.

Estudos apontam que em escala local a sazonalidade dos fatores abióticos tem papel importante para a produção da serapilheira dos manguezais. Fatores abióticos como precipitação, temperatura, radiação solar, velocidade dos ventos, condições do solo e limitação de nutrientes. Essa alta produtividade tem relação forte com a manutenção dos ecossistemas adjacentes, pela exportação de matéria orgânica e de nutrientes (FARIAS; FERNANDES; REISE, 2006; FERNANDES; CARVALHO; FARIAS, 2010).

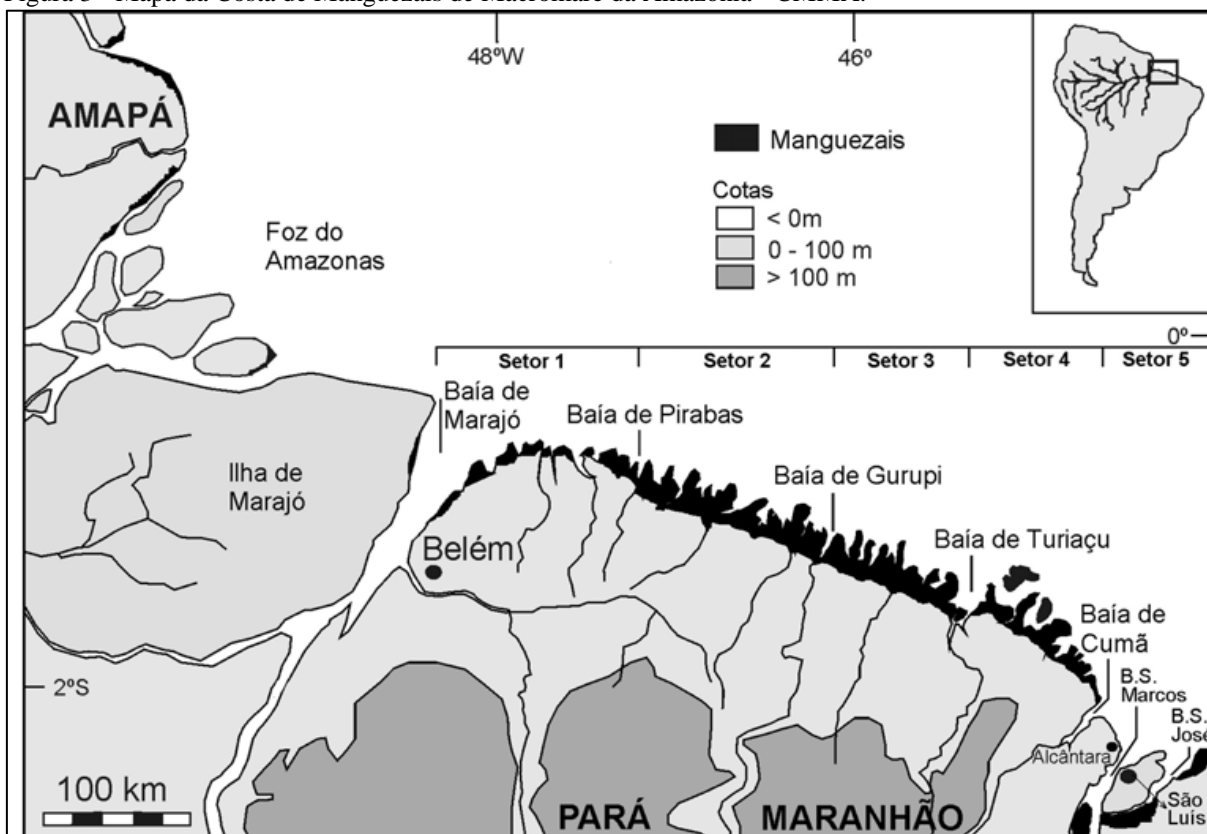
Os padrões de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais podem ser observados através do uso de parâmetros de ordem temporal e de estudos da quantificação dos nutrientes, os quais integram os componentes envolvidos na serapilheira, uma das principais ferramentas do ciclo de nutrientes (GONÇALVES; FERNANDES; CARVALHO, 2006).

Christofoletti (2005) classifica os manguezais como ecossistemas oligotróficos mesmo possuindo alta produtividade, pela baixa disponibilidade de N e P. Também destaca o papel da macro e microfauna no papel de facilitação da decomposição das folhas e incorporação dos nutrientes ao solo. Para Matos, Bernini e Rezende (2007) essa é uma das etapas mais importantes da ciclagem, pois parte do carbono incorporado pela biomassa e pela fotossíntese retorna para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub> e os outros elementos se remineralizam tornando-os disponíveis novamente.

#### **4.4 Os manguezais da Amazônia**

Os manguezais constituem um dos principais ecossistemas litorâneos no norte da América do Sul estendendo-se quase sem descontinuidade por cerca de 2000 km do delta do Orinoco, na Venezuela, a baía de São Marcos, no Maranhão. Os 679 km (alguns autores consideram apenas 480 km) da linha de costa entre os estados do Pará e Maranhão (Figura 3) formam o maior cinturão contínuo de manguezais do mundo com uma área aproximada de 8900 km<sup>2</sup> (MENEZES; MEHLIG, 2009; PROST; RABELO, 1996; SOUZA FILHO; MARTINS; COSTA, 2006).

Figura 3 - Mapa da Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia - CMMA.



Fonte: Souza Filho (2005).

Essa costa é definida por Souza Filho (2005) como Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia – CMMA definida por um relevo baixo (0 a 8 m), com ampla planície costeira (com até 70 km de largura), recortada e denteada por diversos estuários, tornando-a extremamente irregular, e por um regime de macromarés semidiurnas que variam de 4 m na Baía do Guajará em Belém até 7,5 m na Baía de São Marcos no Maranhão.

Um litoral complexo e dinâmico em que as características ambientais interagem com uma população de estreita relação com esse ecossistema. Essa é a Amazônia costeira descrita por Prost e Mendes (2011) como um setor tão dinâmico e complexo que as modificações morfológicas e sedimentológicas ocorrem em escalas espaciais e temporais que variam de poucos segundos e centímetros até séculos e milhares de quilômetros. Os autores mencionados descrevem três forçantes físicas que influenciam o litoral amazônico a nível regional:

**Forçante Atmosférica:** esta forçante está pautada pelo efeito da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ZCIT é a faixa de encontro dos ventos alísios de nordeste (procedência do Hemisfério Norte) com os alísios de sudeste (procedência do Hemisfério Sul) e sua posição coincide aproximadamente com a do equador térmico. A ZCIT se caracteriza

pela “acentuada instabilidade atmosférica que propicia o desenvolvimento de correntes ascendentes com formação de grandes nuvens convectivas, geradoras de precipitação abundante e aguaceiros acompanhados de trovões e relâmpagos” (VAREJÃO-SILVA, 2005).

Forçante Oceânica: esta forçante está parcialmente relacionada com a Atmosférica, ela é resultado da circulação oceânica promovida pelas correntes Costeira Norte do Brasil e das Guianas. A corrente Sul-Equatorial originária das costas africanas se divide em duas na extremidade leste da América do Sul, formando a Corrente do Brasil, que percorre o Litoral Brasileiro em sua porção oriental e a Corrente Costeira Norte do Brasil (CCNB) que prolongada pela Corrente das Guianas flui ao longo da Costa Norte do Brasil.

Forçante Amazônica: esta forçante provém do transporte de águas e sedimentos finos do rio Amazonas. O Amazonas responde por cerca de 18 % da água doce lançada no oceano a nível mundial, onde 40% dessa descarga ocorre entre os meses de fevereiro e março (atuação da forçante atmosférica). A hidrodinâmica na foz mantém em suspensão os sedimentos que são transportados para NNW (norte noroeste) o que gera uma pluma turbida visível até por imagens de satélite.

Devido à interação entre as forçantes físicas regionais, a distribuição regular das chuvas, as altas temperaturas, as macromarés semidiurnas, o grande aporte de sedimentos, a geomorfologia regional e devido ao baixo impacto das atividades humanas em boa parte da costa, os manguezais da Amazônia são exuberantes tanto em relação ao porte das árvores quanto em relação à área que abrangem. Porém, embora estejam sob condições similares estes manguezais não são uma unidade homogênea e uniforme, cada região dentro dessa costa apresenta especificidades que caracterizam e modelam esses ambientes (MENDES, 2005; MENEZES; MEHLIG, 2009; REBELO-MOCHEL, 2011).

Seguindo o sistema de unidades fisiográficas da costa brasileira sugerida por Schaeffer-Novelli et al. (1990) pode-se dividir a costa Amazônica em três: Unidade I, costa do Amapá; Unidade II, golfo Amazônico e Unidade III, reentrâncias Paraenses-Maranhaenses.

Os manguezais do Amapá são similares aos manguezais da Guiana Francesa e são fortemente influenciados pelo sistema de dispersão do rio Amazonas que transporta cerca de  $13 \times 10^8$  ton de sedimentos. No Amapá (Unidade Fisiográfica I) os manguezais ocupam uma faixa de aproximadamente 2.300 km<sup>2</sup> e diferente do que ocorre nos litorais do Pará e Maranhão, apresentam um ambiente bem peculiar sem conexão com os sistemas de baías e estuários. Este setor, compreendido entre o Cabo Orange e o Cabo Norte é caracterizado por

bosques homogêneos, dominados por *Avicennia germinans* (L.) Stearn, formando extensos siriubais (MENDES, 2005; PROST; MENDES, 2011).

Na desembocadura do rio Amazonas (Unidade Fisiográfica II, que se estende do Cabo Norte à Ponta Curuçá) os manguezais são menos representativos, dominados pelos campos alagados e as florestas de várzeas, aparecendo na maioria dos casos na periferia de ilhas, como na costa ao norte de Icoaraci (Belém - PA) e, sobretudo, em Vigia de Nazaré - PA e São Caetano de Odivelas - PA onde os bosques são mistos de *Avicennia germinans* (L.) Stearn e *Rhizophora mangle* L. (PROST; RABELO, 1996).

O conjunto de manguezais do Pará-Maranhão (Unidade Fisiográfica III) entre Ponta Curuçá no Pará e Baía de São Marcos no Maranhão (para alguns autores até ponta de mangue secos), é extremamente recortada com inúmeras baías e estuários o que veio a denominar este setor como “Litoral de Rias”. Essa formação é diretamente relacionada com a história geomorfológica quaternária dessa região, marcada por variações do nível relativo do mar e afogamento dos vales fluviais no Holoceno (PROST; MENDES, 2011).

Mesmo sendo encarada como uma Unidade fisiográfica homogênea, Rebelo-Mochel (2011) diferencia esse litoral em duas áreas quanto aos aspectos geomorfológicos e ecossistemas associados. Em geral, no Pará os manguezais compartilham a costa principalmente com as praias arenosas, dunas, restingas e brejos de água doce, enquanto que no Maranhão geralmente eles encontram-se associados a extensas planícies de maré lamosas, marismas hipersalinos, apicuns, brejos de água doce e várzeas de marés.

Essa diferença pode estar relacionada à divisão em setores geomorfológicos que Souza Filho (2005) utilizou para caracterizar a CMMA (Figura 3). Por exemplo, no Setor 1 que se estende da Baía de Marajó até a Baía de Pirabas o planalto costeiro alcança a linha de costa formando falésias, estando a planície costeira, onde se desenvolvem os manguezais, restrita a apenas 2 km de largura, os canais estuarinos estendendo-se por cerca de 60 km. No Setor 2, entre as baías de Pirabas e Gurupi, os manguezais começam a se desenvolver amplamente a partir da baía de Pirabas, o planalto costeiro recua em direção a sul para constituir falésias inativas, os manguezais atingem uma largura de aproximadamente 30 km em direção ao mar e os estuários chegam a atingir 80 km em direção ao continente.

Já no estado do Maranhão, Souza Filho (2005) encontra as maiores extensões de manguezal. Nos setor 3 os manguezais alcançam a largura máxima de 40 km formando uma costa muito mais irregular e recortada. No setor 4 os manguezais possuem uma largura de cerca de 26 km, porém surgem falésias de até 10 m de altura próximo de Alcântara onde ocorre uma interrupção de 8 km no cinturão de manguezais. No setor 5 os manguezais

ocorrem ao longo dos canais estuarinos que chegam a 100 km em direção ao continente, porém, assim como ocorre no Golfão Amazônico, aqui são coadjuvantes em relação a outros ecossistemas.

#### 4.5 As zonas de transição

Diversos ambientes e ecossistemas apresentam uma estreita conectividade com os manguezais compartilhando entre si as forçantes ambientais, os recursos socioeconômicos, as espécies de fauna e, inclusive, conflitos de uso (REBELO-MOCHEL, 2011). Essas zonas de transição entre o manguezal e os sistemas de terra firme são áreas consideradas estressantes para as espécies de ambos os ecossistemas.

Devido a esse estresse a transição do manguezal com outros ecossistemas terrestres ocorre gradualmente, ao contrário do que ocorre na transição com comunidades marinhas que geralmente ocorre de forma abrupta (BERNINI, 2008). Porém, mesmo nesse ambiente desfavorável algumas espécies associadas aos manguezais prosperam e se estabelecem perfeitamente.

Figuram nessas áreas de transição para o ambiente terrestre e são característicos delas elementos não típicos, mas associados ao manguezal, como o manguê-de-botão, o *Conocarpus erecta*, o algodoeiro da praia, gênero *Hibiscus*, a samambaia do manguê, o *Acrosticum aureum* e o capim praturá, gênero *Spartina*. As espécies associadas não são consideradas espécies típicas de manguezais e somente podem ocorrer nas zonas transicionais (FRUEHAUF, 2005; SUGIYAMA, 1995; TOMLINSON, 1986).

Na Costa Amazônica os manguezais são sucedidos por diversos ecossistemas. Dentre eles os marismas tropicais, os apicuns, as florestas de várzea, as restingas, as florestas de terra firme e etc.. Alguns desses ecossistemas serão descritos abaixo.

Os marismas são comunidades dominadas por vegetação herbácea perene, podendo estar associada a alguns arbustos e que podem ser hipersalinos composto por espécies herbáceas tolerantes a salinidade, tais como *Batis marítima*, *Blutaparon portulacoides* e *Sesuvium portulacastrum* (marismas tropicais hipersalinos), podendo também ocorrer entre os manguezais e as águas estuarinas compostos por espécies como *Spartina sp* e marismas tropicais de água doce que ocorrem onde a drenagem de água doce prevalece sendo constituído principalmente por espécies de Cyperaceae e Gramineae (REBELO-MOCHEL, 2011; SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

Uma parte integrante do ecossistema manguezal os “apicuns” são áreas que segundo alguns autores têm recebido pouca atenção da comunidade científica apresentando estudos incipientes e ainda conflitos quanto a sua definição (HADLICH; CELINO; UCHA, 2010; PELLEGRINI, 2000; SCHIMIDT, 2012; UCHA; HADLICH; CELINO, 2008). Segundo Hadlich e Ucha (2009) os apicuns são áreas arenosas hipersalinas, ensolaradas, que ocorrem na porção mais interna do manguezal, desprovidos de vegetação (apicum vivo) ou com vegetação herbácea (apicum herbáceo), ocorrendo em áreas litorâneas tropicais de todo mundo sempre associados aos manguezais, característica essa que os diferencia de outras planícies hipersalinas.

Na zona transicional entre manguezal com as florestas de várzea onde a salinidade fica próxima de 0 e o solo começa a ficar mais silto-arenoso, surgem espécies como o *Acrostichum aureum* e *Euterpe oleracea* Mart. que começam a substituir gradualmente os manguezais estuarinos em resposta a dessalinização do meio, a maior influência da água doce fluvial e aumento no percentual de silte e areia nos sedimentos (BERRÊDO; COSTA; PROGENE, 2008; PROST; MENDES, 2011). Prost e Rabelo (1996) afirmam que as matas de terra firme aparecem nos pontos onde afloram os sedimentos do grupo Barreiras.

Schmidt (2012) alega que as zonas de transição entre os manguezais e os ecossistemas adjacentes vêm recebendo pouca atenção dos pesquisadores e que essa é uma área bastante explorada economicamente, alterada e impactada pelas atividades humanas, dentre elas a coleta do caranguejo Uçá (*Ucides cordatus*). O autor supracitado recomenda que sejam realizados estudos detalhados dessas áreas e que elas sejam melhor definidas com base em outros critérios além da salinidade e nível de maré, como por exemplo a composição e estrutura da vegetação.

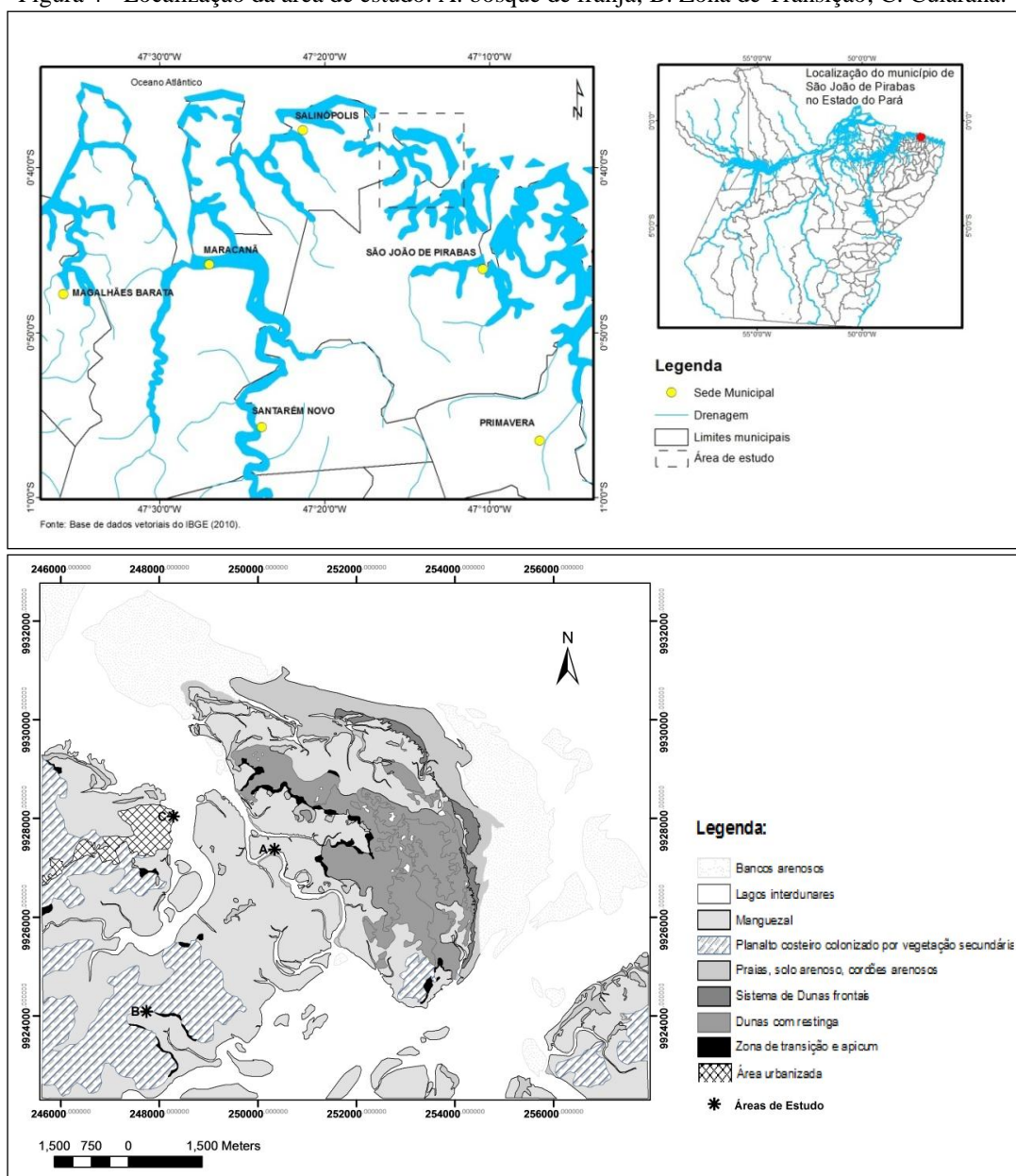
## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Área de estudo

#### 5.1.1 Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada no litoral amazônico, na costa do Estado do Pará à leste da foz do Rio Amazonas na região conhecida como “litoral de rias”, no município paraense de São João de Pirabas, com coordenadas geográficas  $0^{\circ} 39' 11''$  S e  $47^{\circ} 13' 32''$  W (Fig. 4).

Figura 4 - Localização da área de estudo. A: bosque de franja; B: Zona de Transição; C: Cuiarana.





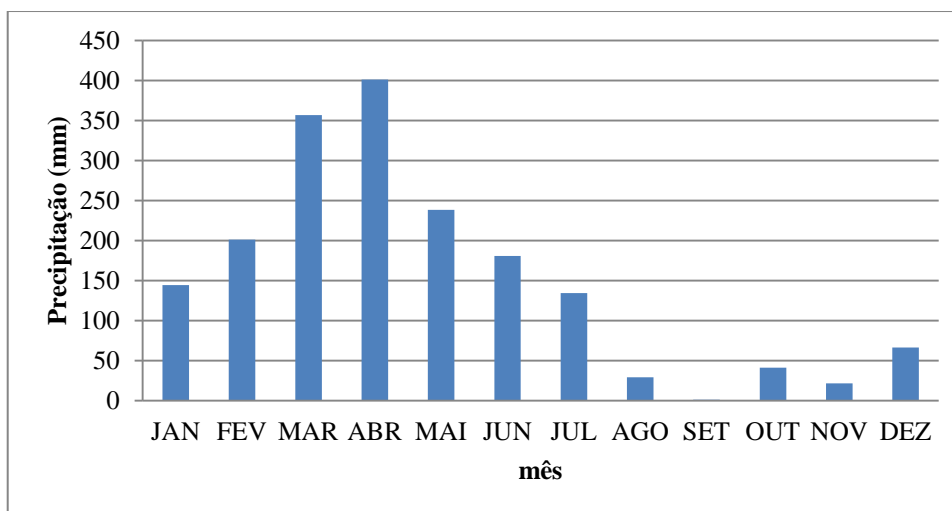
Essa região faz parte da Unidade Fisiográfica III descrita por Schaeffer-Novelli (1990) recortada por estuários e reentrâncias formando a maior área contínua de mangues do Brasil. O município de São João de Pirabas está localizado na mesorregião Nordeste do Pará, mais precisamente na microrregião do Salgado Paraense, e dentro do setor 1 da divisão em setores geomorfológicos que Souza Filho (2005) utilizou para a Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia. A cerca de 200 km de Belém, capital do estado do Pará, a área de estudo é banhada pelo oceano Atlântico e seu acesso se dá pela Rodovia PA-124.

### 5.1.2 Clima

O clima da região amazônica é caracterizado por ser quente e úmido. Na região Nordeste do Pará é classificado como Am segundo a classificação Koppen, com pequena amplitude de variação de temperatura (temperatura média em torno de 27,7°C, e temperaturas mínimas e máximas de 25,1°C e 31°C respectivamente), grande incidência de raios solares, muita nebulosidade e elevada precipitação. Estas condições climáticas são moduladas por sistemas meteorológicos de micro escala, mesoescala e grande escala que agem isolados ou combinados entre si, com destaque para a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (ANANIAS et al., 2010; GREGÓRIO; MENDES; BUSMAN, 2011; SILVA; PORTELA, 2006).

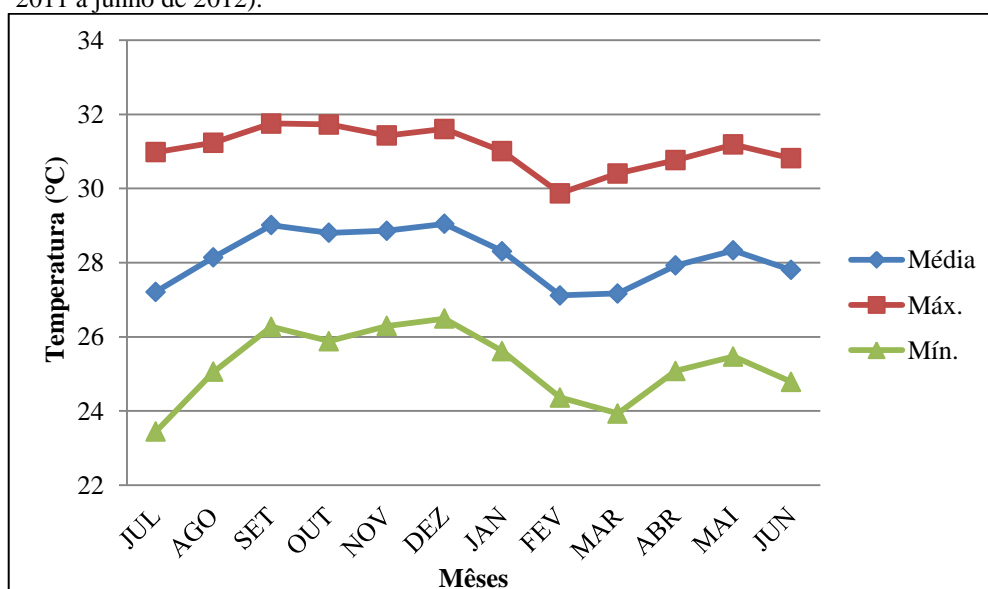
Com base em dados obtidos a partir da estação automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de Salinópolis localizada cerca de 8 km da área de estudo é possível observar o comportamento climático da região, em uma série de 4 anos (2010 à 2013). A Figura 5 apresenta a precipitação média de cada mês de uma série de 4 anos e a Figura 6 a variação da temperatura do ar (máxima, média e mínima) ao longo de um ano.

Figura 5 - Precipitação média mensal (série de 4 anos – 2010/2013).



Observando as Figuras 5 e 6 fica nítido o comportamento sazonal de precipitação e de temperatura nessa região formando dois períodos sazonais (período chuvoso de janeiro a junho e período de estiagem de julho a dezembro). Andreoli et al. (2012) afirmam que o ciclo sazonal domina as variações de precipitações convectivas da Amazônia e que esse ciclo nessa região é regido pelo Sistema de Monções Sul-americanas (South American monsoon system – SAMS). Mas esses autores apontam que as precipitações da Amazônia apresentam uma marcada variabilidade interanual que em parte é atribuída a variações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Pacífico e Atlântico.

Figura 6 - Variação da temperatura máxima, média e mínima ao longo de um ano (julho de 2011 a junho de 2012).



Amanajás e Braga (2012) apontam que o comportamento da precipitação sazonal da região costeira da Amazônia Oriental está associado ao deslocamento norte-sul da ZCIT, o principal sistema responsável pelas chuvas do norte/nordeste do Brasil. A ZCIT migra de sua posição mais ao norte sobre o Atlântico cerca de 14°N em agosto/setembro (período de estiagem desse estudo Fig. 12) para cerca de 4°S em março/abril (período chuvoso desse estudo Fig. 12) e com o transporte de umidade trazido pelos alísios de NE formam as chuvas da região. Estes mesmos autores destacam também o papel das Linhas de Instabilidades – LIs costeiras em mesoescala, associadas a circulação de brisa com maior ocorrência em abril como principal sistema gerador de chuvas.

Com as mudanças climáticas globais, são esperadas modificações nos padrões de precipitação amazônica para os próximos anos devido a mudanças no uso e cobertura do solo e mudanças na composição da atmosfera. A substituição das florestas por pastos reduz a evapotranspiração e a força da convecção tropical, conseqüentemente mudanças no balanço de água e energia levam a redução da precipitação e aumento da temperatura (SATYAMURTY et al., 2010).

Valverde e Marengo (2010) em estudo que usou os modelos do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) como base para análise dos cenários futuros para o Brasil em diferentes períodos do ano (sazonalidade) encontraram para a maioria dos modelos redução das chuvas na Amazônia para o futuro, devido a fatores como o enfraquecimento da ZCIT dentre outros. Isso pode ser traduzido em uma grande ameaça aos ecossistemas costeiros dessa região para o futuro.

### 5.1.3 Vegetação

Silva (2006) separa os tipos de formações vegetais do nordeste do Pará em formações secundárias e formações pioneiras. O autor op. cit. define as formações secundárias como sendo as florestas secundárias que se desenvolvem no Planalto Costeiro sobre Latossolos ou sedimentos terciários da Formação Barreiras, em terrenos de topografia mais elevada. As formações vegetais pioneiras são descritas como sendo os manguezais, as restingas e os campos naturais. As formações pioneiras ocupam as faixas de depósitos arenosos (praias e dunas) e os depósitos argilosos, associados às planícies de marés lamosas onde se estabelecem os manguezais.

As florestas secundárias ou capoeiras são florestas que conseguiram se regenerar (principalmente) por processos naturais após terem sua vegetação primária removida por impactos ou distúrbios de origem antrópica ou natural (BRANCALION et al., 2012).

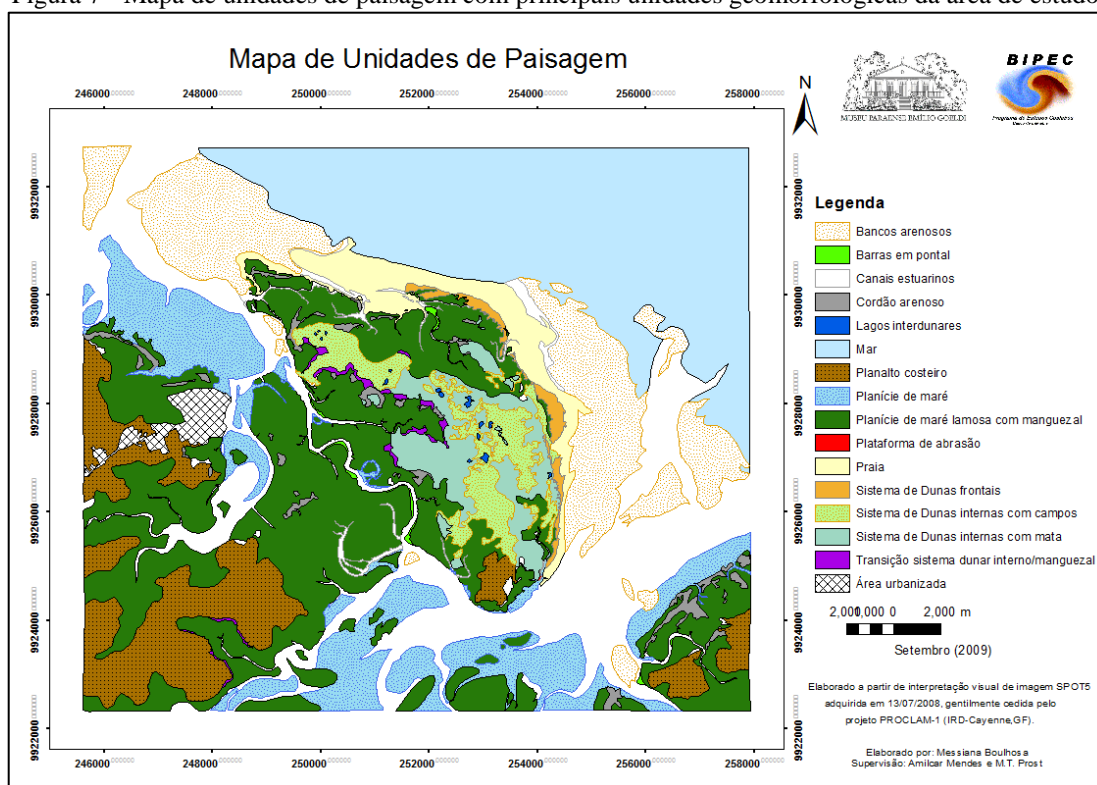
As restingas podem ser definidas como a vegetação que ocorre adjacente ao oceano nas planícies costeiras arenosas quaternárias e podem ser divididas em seis formações vegetais: halófila, psamófila reptante, brejo herbáceo, campo de dunas, formação aberta de moitas e floresta de restinga. Os campos naturais (vegetação de pântanos) são caracterizados pela vegetação aberta que ocorrem em dois tipos: pântanos salobros que estão sob influência de córregos de maré e pântanos de água doce que estão sob influência de cursos fluviais (AMARAL et al., 2008; SILVA, 2006). Os manguezais são formações florestais que ocorrem em áreas abrigadas do litoral tropical compostos por bosques de árvores que apresentam adaptações para sobreviver à salinidade e à inundação (LACERDA et al., 2006).

#### 5.1.4 Geologia, geomorfologia e solo

Neste setor a linha de costa recorta a sequência carbonática da Formação Pirabas, os sedimentos do Grupo Barreiras e depósitos inconsolidados do Holoceno. A formação Pirabas é constituída de rochas carbonáticas fossilíferas depositadas durante o Mioceno Inferior, com afloramentos na região litorânea. Lateritos, solos laterizados e “grés do Pará” são critérios para reconhecimento dos sedimentos Barreiras depositados no fim do Terciário e início do Quaternário (EL-ROBRINI et al., 2006; GREGÓRIO; MENDES; BUSMAN, 2011).

De acordo com Silva Júnior e El-Robrini (2001) na área de estudo (Ilha de Itarana) são encontradas duas unidades morfológicas: o Planalto Costeiro e a Planície Costeira. O Planalto Costeiro ocorre no sudeste da Ilha formado por um relevo colinoso e ondulado com altitude em torno de 30m, já a Planície Costeira está representada pelos ambientes de manguezais intermaré, os sistemas de terraço, as paleodunas, as dunas frontais, lagos, praias e barras arenosas. A Figura 7 apresenta as principais unidades geomorfológicas da área de estudo.

Figura 7 - Mapa de unidades de paisagem com principais unidades geomorfológicas da área de estudo.



Fonte: Boushos et al. (2012).

Em uma classificação antiga Mascarenhas e Gama (1999) em um estudo sobre os manguezais do nordeste paraense desenvolvido pela EMBRAPA classificaram os solos desses ambientes em Solos Salinos Sódicos Eutróficos, Solos Aluviais Salinos Sódicos Eutróficos, Solos Aluviais Salinos Sódicos Distróficos e Solos Glei pouco Húmicos Salinos. Porém, em classificações mais recentes os solos de mangue têm sido classificados como Gleissolos Tiomórficos, Gleissolos Sálidos e Organossolos (GOMES, 2002; PRADA-GAMERO et al., 2004; VIDAL-TORRADO, 2005).

### 5.1.5 Marés

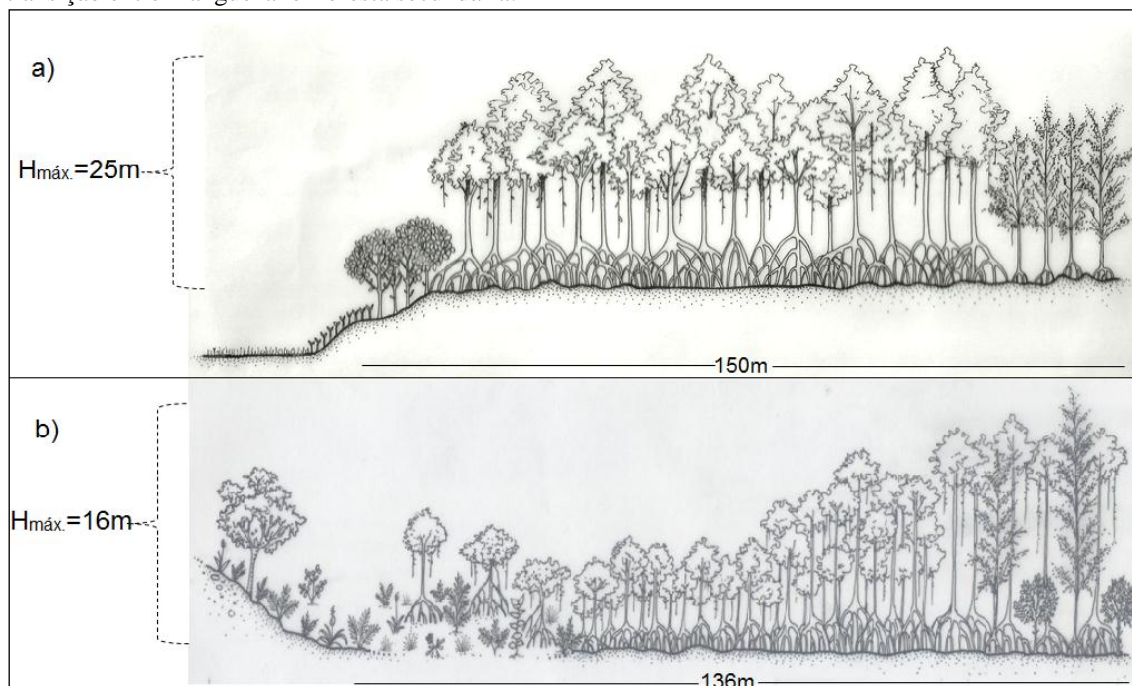
A média da variação de altura das marés dessa região da costa paraense é de 4,8 m, com valor máximo de 5,5 m nas marés de sizígia equinociais. As marés de vazante duram cerca de 1 hora a mais do que as de enchentes. As correntes de enchente são mais fortes em junho e julho e mais fracas entre março e abril, com poucas oscilações no resto do ano (GREGÓRIO; MENDES; BUSMAN, 2011).

Segundo El-Robrini et al. (2006) a velocidade das correntes de maré pode alcançar até  $1.5 \text{ cm.s}^{-1}$  em particular no estuário do rio Caeté e 2,1 nós e mínimas de 1,9 nós em Salinópolis, com direções E-NW e NE.

## 5.2 Locais de amostragem

Com base nos objetivos do trabalho foram traçados dois Perfis ou Transectos em duas áreas distintas: o Perfil 1 no manguezal de franja da Ilha de Itarana e o Perfil 2 na zona de transição entre um manguezal e uma floresta secundária na Vila de Caranã (Fig. 8).

Figura 8 - Perfis de amostragem das áreas de estudo a) manguezal de franja da Ilha de Itarana e b) zona de transição entre manguezal e floresta secundária.



Fonte: Bastos, Lins e Castro (não publicado).

### 5.2.1 Perfil 1: manguezal de franja da Ilha de Itarana

O primeiro perfil está localizado na ilha de Itarana ou Itaranajá, uma ilha quase livre de intervenções antropogênicas situada a leste da Vila de Cuiarana (1,8 km), entre as baías de Arapépó e de Inajá que são interligadas por um sistema de canais, sendo o maior deles o Furo Grande que separa a Ilha de Itarana do continente.

Este manguezal margeia as bordas da Ilha (Figura 9) protegidas das ações diretas das ondas, em uma região topograficamente mais baixa, o que favorece maior frequência e tempo de inundações pelas marés, por isso é denominado manguezal de intermaré. Apresenta um solo de granulometria mais fina, úmido e escuro que pode ser indicativo de altos teores de matéria orgânica.

Figura 9 - Vista do manguezal de franja da Ilha de Itarana.



Este bosque é dominado por *Rhizophora mangle* e apresenta árvores de mangue de grande porte em fase adulta (Figura 10). Segundo dados obtidos da equipe de pesquisadores da Coordenação de Botânica do Museu Paraense Emílio Goeldi (CBO-MPEG) foram registrados 226 indivíduos de *Rhizophora mangle* L. com circunferência média de 62,19 cm e altura média de 12,52 m (Tabela 9), 42 indivíduos de *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn. com circunferência média de 45,25 cm e altura média de 10,69 m e 3 indivíduos de *Avicennia germinans* (L.) L. com circunferência média de 35,00 cm e altura média de 8,00 m.

Figura 10 - Árvores de mangue vermelho no manguezal da Ilha de Itarana.



Na parte frontal foram registradas populações de *Spartina alterniflora* Loise seguida por plântulas e indivíduos jovens de alturas diversas de *Laguncularia racemosa* e de regeneração de *Rhizophora mangle* (Fig. 8).

As características fisiográficas desse bosque permite classifica-lo como um bosque de franja segundo a classificação usada por Lugo e Snedaker (1974). Este é um bosque maduro e livre de grandes intervenções humanas, mas que é muito visitado para fins turísticos e de lazer como a pesca esportiva.

### 5.2.2 Perfil 2: zona de transição entre manguezal e floresta secundária

O segundo Perfil está localizado próximo à comunidade de Caranã a sudoeste da Ilha de Itarana (Fig. 4) em uma área onde a planície costeira começa a dar lugar ao planalto costeiro formado por sedimentos do grupo Barreiras. O acesso se dá pela Rodovia PA-124 até uma vicinal não asfaltada que leva a uma pequena igreja da comunidade.

Essa área é denominada manguezal de supramaré, por se localizar em uma região topograficamente mais elevada que é atingida pelas marés de maior amplitude e com menor frequência de inundação em relação aos manguezais de intermaré. O solo apresenta textura mais arenosa e recebe influência de água doce proveniente de igarapés e baixios próximos, os quais chegam ao local sob forma de pequenos cursos d'água que são mais abundantes durante o período chuvoso alimentados pela água da chuva.

Essa zona deveria ser desprovida de vegetação por se tratar de uma área onde naturalmente se formam os apicuns, mas a influencia da água doce reduz a salinidade e permite o desenvolvimento de um bosque de *Rhizophora mangle* de pequeno porte (Figuras 8 e 11). Schmidt (2012) encontra uma situação semelhante em um manguezal do extremo sul da Bahia, onde em uma área que só é atingida pelas marés de sizígia e que deveria ser hipersalina e desprovida de vegetação, permite o desenvolvimento de um bosque de *Laguncularia racemosa* pela existência de um brejo próximo que reduz a salinidade da área.

Esse perfil esta localizado em uma zona de transição entre o manguezal e floresta secundária (capoeira) que começa a surgir com a elevação da topografia no planalto costeiro e redução da salinidade (Fig. 11). A equipe de botânicos da CBO do Museu Emílio Goeldi detectou nos primeiros 10 m espécies características de floresta secundária, entre elas *Desmoncus orthacanthus* Mart. ou jacitara, *Heliconia psittacorum* L. f. (bico de papagaio) e *Clitoria fairchildiana* R. A. Howard (palheteira). No intervalo de 10 a 11m ocorre uma área mista com espécies de ambos os ecossistemas onde foram registrados indivíduos de altura



média de 2 m, onde predomina *Acrostichum aureum* L., seguida de várias Cyperaceae e Poaceae dentre as quais *Eleocharis geniculata* (L.) Roem & Schult., *Sporobolus virginicus* (L.) Kunth, *Desmoncus orthacanthus* Mart. e *Conocarpus erectus* L.

Figura 11 - Vista da zona de transição: à esquerda a vegetação de floresta secundária e a direita árvores de mangue vermelho de pequeno porte.



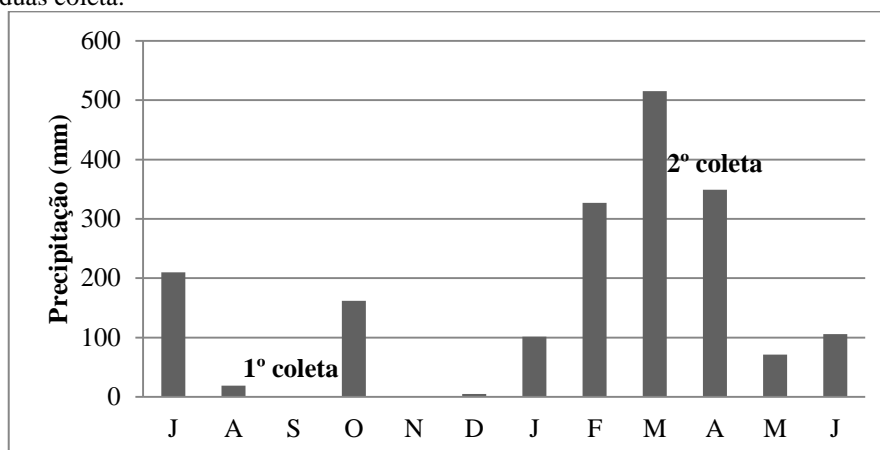
De 11 a 130 m começa a surgir um manguezal jovem, no qual se percebe a predominância de *Rhizophora mangle* em vários estágios de desenvolvimento, com alturas que aumentam à medida que se adentra no perfil, iniciando com indivíduos de altura média de 3 m, alcançando 5 a 10 m. Nos últimos metros foram registrados indivíduos *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* de maior porte.

### 5.3 Coleta, amostragem e preparação de amostras

#### 5.3.1 Amostragem de solo

As coletas ocorreram nos meses de setembro de 2011 e abril de 2012, períodos de estiagem e chuvoso da região respectivamente, conforme indica a Figura 12. O Perfil do manguezal de franja na Ilha de Itarana foi traçado de um canal de maré ao interior do manguezal, onde foram criados 5 pontos em uma distancia de 150 m (pontos P1: 0 m; P2: 50 m; P3: 100 m; P4: 125 m; P5: 150 m). O Perfil 2 foi traçado seguindo a mesma orientação do gradiente de transição, no sentido floresta secundária-canal de maré, onde foram criados 5 pontos em uma distancia de 136 m (pontos P1: 26 m; P2: 39 m; P3: 67 m; P4: 88 m; P5: 136 m).

Figura 12 - Precipitação acumulada mensal de julho de 2011 a junho de 2012 e as duas coleta.



Para as coletas de solo foram utilizados dois trados: um trado em aço inoxidável especial para coleta de lamas não perturbadas e um trado holandês que foi utilizado para coletar solo de alguns pontos do Perfil 2 (P1 e P2). Foram coletadas para cada ponto três repetições. As amostras coletadas foram envoltas em papel filme, seguido de papel alumínio para atenuação de trocas com o meio externo oxidante e, em seguida, em folhas de calhas plásticas.

Após a coleta de solo as amostras foram identificadas e acondicionadas em caixas de isopor com gelo, para o transporte até o Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém - PA, onde ficaram armazenadas em freezer.

No laboratório as amostras coletadas com o trado de aço inoxidável foram fracionadas nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, identificadas e armazenadas. As amostras coletadas com trado holandês tiveram profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm.

As amostras foram secas ao ar em um ambiente climatizado e livre de contaminações externas e posteriormente foram maceradas, destorroadas com rolo e peneiradas em peneira de malha 2 mm, retirando com pinça, o excesso de raízes finas que passaram através da malha.

### 5.3.2 Coleta e preparação de folhas

As folhas de *Rhizophora mangle* foram coletadas nos pontos de amostragem de solo, em um raio de até 5 m, de pelo menos três árvores diferentes. Foram coletadas folhas adultas e verdes que foram acondicionadas em sacos de papel e levadas ao Laboratório de Análises

Químicas do Museu Paraense Emílio Goeldi (LAQ-MPEG). Então essas folhas foram lavadas e secas em estufa á uma temperatura de 45°C durante um período de 96 horas. Em seguida o material foi moído em moinho tipo Willey. A partir de então o material seguiu para as análises químicas.

Também foi coletada a fração foliar da serapilheira diretamente do solo em um raio de 5 m dos pontos de amostragem de solo, mesmo procedimento utilizado por Reis (2013). Coletou-se em torno de 150 a 200 g de folhas aleatoriamente, sem a diferenciação de espécies vegetais, dentre as quais se destacou as folhas de *Rhizophora mangle*. As folhas da serapilheira foram acondicionadas em sacos de papel e enviadas ao LAQ-MPEG. Em seguida foram lavadas e secas em estufa à 45°C por 96 horas. Após seco, o material foi moído em moinho tipo Willey e conduzido para as análises químicas no laboratório de análises químicas do Museu Emílio Goeldi.

### 5.3.3 Medições de salinidade, pH e Eh do solo

As medidas de salinidade da água intersticial realizaram-se com um refratômetro de campo (ATAGO), mediante a extração, sob pressão, de um pequeno volume (gotas) de água intersticial. O Eh (mV) e o pH foram medidos por meio da inserção direta nas amostras de solo de um eletrodo de platina (Eh) e de um eletrodo de vidro (pH) de alta precisão com um equipamento da marca Metrhom 744 após a coleta.

## 5.4 Análises químicas e granulometria

### 5.4.1 Análises químicas do solo

As análises de solo seguiram a metodologia descrita e indicada por Silva (2003) e EMBRAPA (1997). Nas análises das concentrações de Sódio ( $\text{Na}^+$ ) e Potássio ( $\text{K}^+$ ) trocáveis procedeu-se a extração com solução extratora de Mehlich 1. O líquido sobrenadante foi filtrado e armazenado em frascos descontaminados. As leituras das concentrações se deram em um aparelho Fotômetro de Chama, marca Corning, modelo 400.

Para a análise de Cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) e Magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ) trocáveis foram pesados 5 gramas das amostras em erlenmeyer de 125 ml e adicionados 50 ml de uma solução de cloreto de potássio (KCl) a 1 N e pH 7. Após a extração com solução de KCl as leituras foram feitas em

Espectrofotômetro de Absorção Atômica, marca Instrumentos Científicos C. G. e modelo AA 904.

A determinação de Alumínio trocável ( $Al^{+++}$ ) se deu por volumetria de neutralização onde se transferiu 25 ml do mesmo extrato obtido para Ca e Mg para um erlenmeyer de 125 ml e adicionou-se 3 gotas do indicador fenolftaleína a 1%. Para a titulação utilizou-se uma solução de NaOH 0,025N.

O Fósforo disponível ( $P^{\cdot}$ ) foi determinado pelo método colorimétrico em que a análise se dá pela extração com solução de Mehlich 1 que reage com molibdato de amônio, tendo o ácido ascórbico como redutor, então a solução adquire um tom azul que é proporcional ao teor de P nas amostras. As leituras de P foram determinadas no espectrofotômetro UV/vis DB 1880 S (Spectro Vision).

Para a análise da concentração dos micronutrientes Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) foi realizada a extração com solução de Mehlich 1 e a leitura feita por Espectrofotometria de Absorção Atômica (Spectr AA-220- Atomic Absortion Spectrometer).

O Carbono orgânico total (C), o Nitrogênio total (N) e o Enxofre total (S) foram analisados em um Analisador Elementar- TruSpec CHN/ CHNS, marca LECO, com módulo para enxofre separado do módulo de CHN da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Para tanto, foram pesados 2 gramas de amostras e adicionados gotas de ácido clorídrico (HCl) a 1N a cada amostra para a eliminação de carbonatos. Então se pesou 0,2 g de cada amostra sobre uma pequena folha de estânio. Essas amostras em seguida foram direcionadas a câmara do aparelho CHNS que determina a concentração de C e N por Combustão a seco a uma temperatura de 950°C.

Para a determinação de enxofre pesou-se 0,2 g de amostra sobre uma cápsula de cerâmica e adicionou-se 1 g de catalisador. As cápsulas foram direcionadas a câmara de análise de enxofre do aparelho CHNS que determinou a concentração desse elemento por combustão a seco a uma temperatura de 1300°C.

#### 5.4.2 Granulometria

A análise granulométrica baseou-se no método da pipeta indicado por Silva (2003). Para esse método foram selecionadas amostras de cada ponto das duas áreas nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Foram pesadas 20 g de amostra e colocadas

em um bécker de 250 ml. Adicionou-se 10 ml de NaOH a 1N e 100 ml de água destilada agitando-se com um bastão de vidro.

A solução ficou em repouso por pelo menos 12 horas e logo após foi transferida para um copo agitador tipo coqueteleira onde permaneceu em agitação durante dez minutos. Após passado esse tempo o conteúdo do copo foi transferido para uma proveta de 1 L (1000 ml) conduzindo o fluxo através de uma peneira de 0,053 mm de abertura.

O material retido na peneira foi transferido para um bécker de 50 ml e colocado em estufa a 100 – 110°C. O conteúdo da proveta foi agitado durante 1 minuto e permaneceu em repouso para sedimentação durante três horas. Decorrido esse período foi introduzida uma pipeta até uma profundidade de 5 cm e coletados 10 ml da suspensão. O conteúdo da pipeta foi acondicionado em um cadinho previamente pesado e levado a estufa a uma temperatura de 100 -110°C.

Após esses procedimentos os béckeres e os cadinhos foram acondicionados em dessecador e pesados. O peso do bécker corresponde à porcentagem de areia e o peso do cadinho a porcentagem de argila. A porcentagem de silte é determinada pela fórmula:

$$\% \text{ de silte} = 100 - (\% \text{ de areia} + \% \text{ de argila}) \quad \text{Equação (1)}$$

#### 5.4.3 Análise química do material vegetal

Para as folhas de *Rhizophora mangle* e para as folhas da serapilheira as análises seguiram a metodologia de Silva (2008). A extração ocorreu por digestão por via úmida de 0,5g de amostra em solução ácida dos ácidos nítrico (HNO<sub>3</sub>) e perclórico (HClO<sub>3</sub>) na proporção de 3:1. Através do extrato obtido procedeu-se as leituras dos nutrientes.

As concentrações de Cobre (Cu), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), foram determinadas por espectrometria de absorção atômica, a concentração de Fósforo (P) por colorimetria e a de Nitrogênio (N) pelo método micro Kjeldahl.

A determinação de Sódio (Na) e Potássio (K) se deu por espectrometria de absorção atômica com adição de solução de cloreto de potássio (KCl) ao extrato para determinação de Na e de solução de cloreto de sódio (NaCl) para determinação do K com a finalidade de remover interferências na leitura. O Carbono (C) e o Enxofre (S), assim como se deu nas

análises de solo, foram determinados em analisador elementar CHNS da marca LECO no laboratório de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia.

## 5.5 Análise de dados

A CTC efetiva do solo, a relação C/N e a saturação por alumínio foram características analisadas nesse estudo. A CTC efetiva é definida como a soma dos cátions trocáveis ( $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) conforme a equação 2.

$$CTC\ efetiva = Al^{3+} + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+ \quad \text{Equação (2)}$$

A relação C/N é definida como a razão entre a concentração de carbono e a concentração de nitrogênio do solo conforme equação 3.

$$C/N = \frac{\text{concentração de Carbono}}{\text{concentração de Nitrogênio}} \quad \text{Equação (3)}$$

A saturação por alumínio (m) é dada pela equação 4.

$$m\% = \frac{Al^{3+} \times 100}{CTC\ efetiva} \quad \text{Equação (4)}$$

As análises estatísticas foram subsidiadas pelas indicações de Gotelli e Ellison (2011). Para facilitar as comparações os dados foram organizados e agrupados por região do manguezal (bosque de franja e de transição), por período de coletas (período de mais chuvas e de estiagem) e no caso do solo por profundidade (as profundidades foram agrupadas a cada 20cm até a profundidade de 60cm).

A normalidade foi testada pelo teste de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) e a homocedasticidade pelo teste de Levene. Os dados de N, S, Zn e Cu do solo, Zn e Cu das folhas de *Rhizophora mangle* e de Cu das folhas da serapilheira foram transformados retirando-se a raiz quadrada, já os dados de K das folhas de *Rhizophora mangle* e das folhas da serapilheira foram transformados pelo Logarítimo natural.

Depois de confirmados os pressupostos de normalidade e homocedasticidade desenvolveu-se a análise de variância (ANOVA) em um esquema fatorial 2x2x3 (2 regiões do

manguezal, 2 períodos de coleta e 3 profundidades) para o solo e 2x2 (2 regiões do manguezal e 2 períodos de coleta) para as folhas de *Rhizophora mangle* e da serapilheira. Quando foi verificada diferença significativa aplicou-se o teste a posteriori de Tukey ao nível de 5% de significância.

Foi aplicado o teste de Correlação de Pearson e de regressão entre os dados de pH e Eh do solo. Para essas análises foram utilizados os softwares Assistat versão 7.7 beta (SILVA, 2014) e Minitab versão 14 (MINITAB, 2003).

Os dados também foram submetidos a Análise de Componentes Principais – ACP ou PCA (do inglês *Principal Component Analysis*). Para esse procedimento utilizou-se o pacote estatístico “R” (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012). Para a ACP, foi construído o diagrama de ordenação das amostras e os autovetores das variáveis.

A partir dos dados dos micronutrientes Cu, Zn, Mn e Fe do solo e das folhas de *R. mangle* encontrou-se o valor do Fator de Concentração ou Fator de transferência – FC conforme a equação 5 para a quantificação dos micronutrientes translocados para as folhas a partir do solo (LACERDA, 1997; OLIVEIRA; BRESSAN; SILVA-FILHO, 1998). Para essa análise só se considerou a profundidade de 0-5cm do solo.

$$FC = \frac{\text{concentração na folha}}{\text{concentração disponível no solo}} \quad \text{Equação (5)}$$

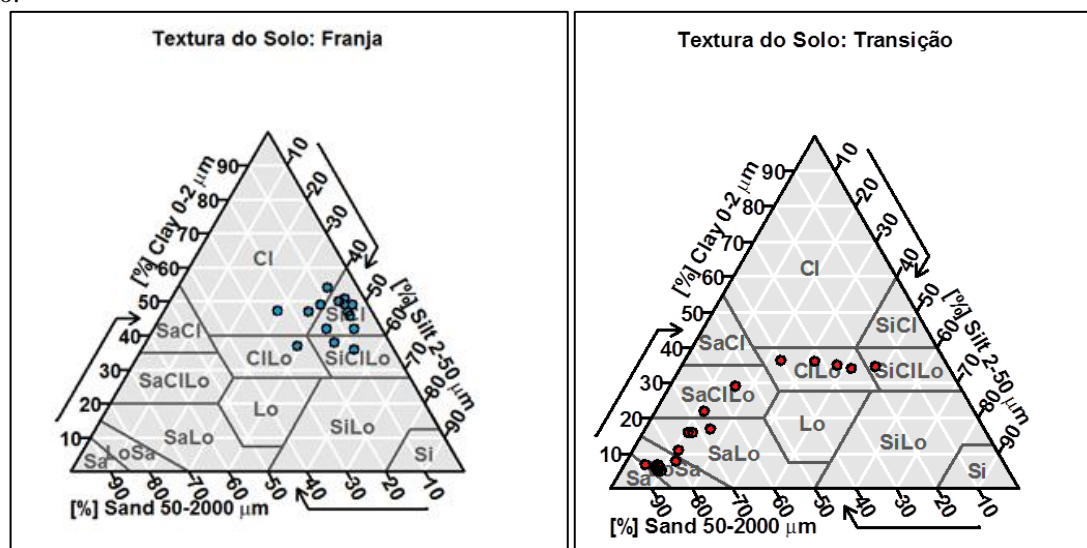
## 6. RESULTADOS

### 6.1 Resultados físico-químicos do solo

#### 6.1.1 Granulometria e classes texturais

A análise granulométrica possibilitou a geração dos triângulos texturais para as duas áreas estudadas (Figura 13) para a classificação do solo quanto à textura. As amostras de solo do manguezal de franja apresentaram classificação textural entre argila, argila siltosa, franco argiloso e franco argilo siltoso, demonstrando a importância das frações argila e silte na textura desse solo. No entanto, as amostras de solo da zona de transição apresentaram classificação textural entre areia, areia franca, franco arenoso, franco argilo arenoso, até franco argiloso e franco argilo siltoso, demonstrando que nessa área a fração areia é dominante até certo ponto e gradualmente vai diminuindo para que as frações silte e argila ocupem essa posição.

Figura 13 - Triângulos texturais para as amostras de solo dos bosques do manguezal de franja e da zona de transição.



Legenda: [%] Clay: % de Argila; [%] Silt: % de Silte; [%] Sand: % de Areia; CI: argila; SaCl: argila arenosa; ClLo: franco-argiloso; SiCl: argila siltosa; SaClLo: franco argilo arenoso; SiClLo: franco argilo siltoso; SaLo: franco arenoso; Lo: franco; Sa: areia; LoSa: areia franca; SiLo: franco siltoso; Si: silte.



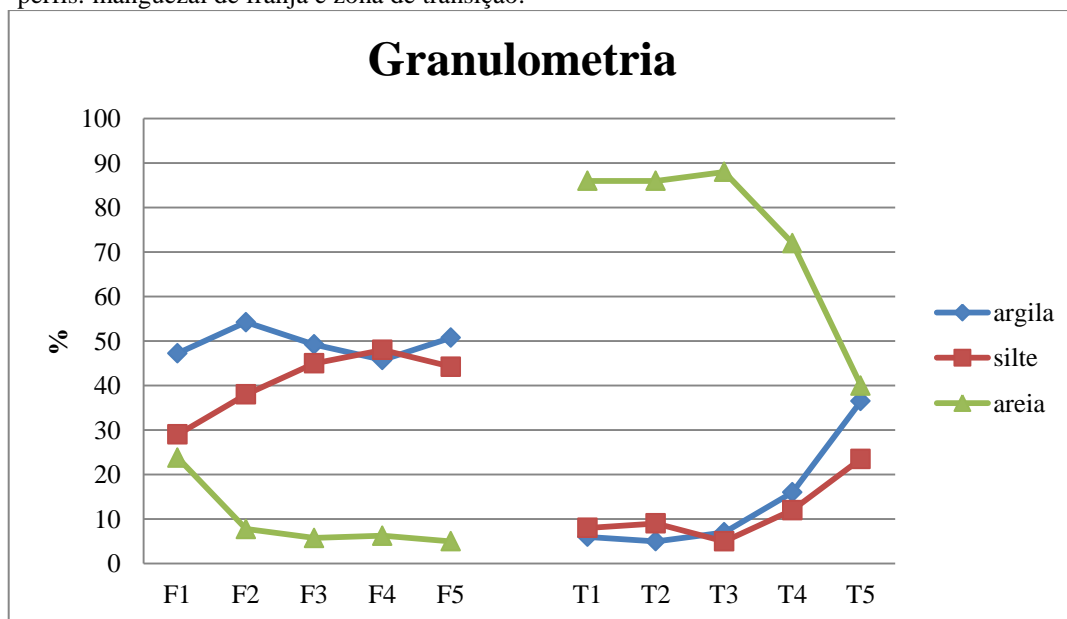
A Tabela 2 apresentada abaixo corrobora os resultados dos triângulos texturais.

Tabela 2 - Frações granulométricas nas profundidades de 0-20cm, 20-40cm e 40-60cm no manguezal de franja e na zona de transição. Média  $\pm$  Erro Padrão.

Profundidade	Franja		Transição		Franja		Transição	
	% de Areia		% de Silte		% de Argila			
0-20	9,7 $\pm$ 3,54	74,4 $\pm$ 9,06	40,85 $\pm$ 3,38	17,5 $\pm$ 6,54	49,45 $\pm$ 1,47	17,5 $\pm$ 5,92		
20-40	10,2 $\pm$ 2,2	76,6 $\pm$ 5,88	45 $\pm$ 2,77	15,33 $\pm$ 4,67	44,8 $\pm$ 2,6	16,33 $\pm$ 5,26		
40-60	12,6 $\pm$ 3,22	64,6 $\pm$ 8,62	44,8 $\pm$ 2,46	20,83 $\pm$ 5,32	42,6 $\pm$ 2,38	21,33 $\pm$ 4,76		

Na Tabela 2 verifica-se que na zona de transição as primeiras camadas apresentam maiores porcentagens de areia e que o manguezal de franja apresenta maior porcentagem de areia na camada de 40-60 cm, a camada mais profunda. Essa diferença pode representar processos deposicionais diferenciados para as duas áreas. A Figura 14 apresenta a variação das frações granulométricas ao longo dos dois Perfis na profundidade de 0-20cm.

Figura 14 - Variação das frações granulométricas na profundidade de 0-20cm ao longo dos dois perfis: manguezal de franja e zona de transição.



Legenda: F = pontos do manguezal de franja; T: pontos do manguezal da zona de transição.

Nessa figura nota-se que as porcentagens de argila no manguezal de franja variam pouco ao longo do perfil e a porcentagem de argila é alta em todos os pontos. Já na zona de transição à medida que se avança do ponto 1 para o 5 a porcentagem de areia que é muito alta (quase 90% no ponto 1) vai decaindo (para quase 40% no ponto 5) e a de argila (menos de 10% no ponto 1) vai aumentando inversamente a quantidade de areia (quase 40% no ponto 5).

Essa mudança gradual da granulometria acompanha a mudança da vegetação na zona de transição conforme se observa na Figura 8.

### 6.1.2 Eh, pH e Salinidade

As propriedades físico-químicas do solo também foram avaliadas nesse estudo. A Tabela 3 apresenta as médias do potencial de oxirredução, do pH e da salinidade do solo das duas áreas estudadas nas profundidades de 0-20cm, 20-40cm e 40-60cm.

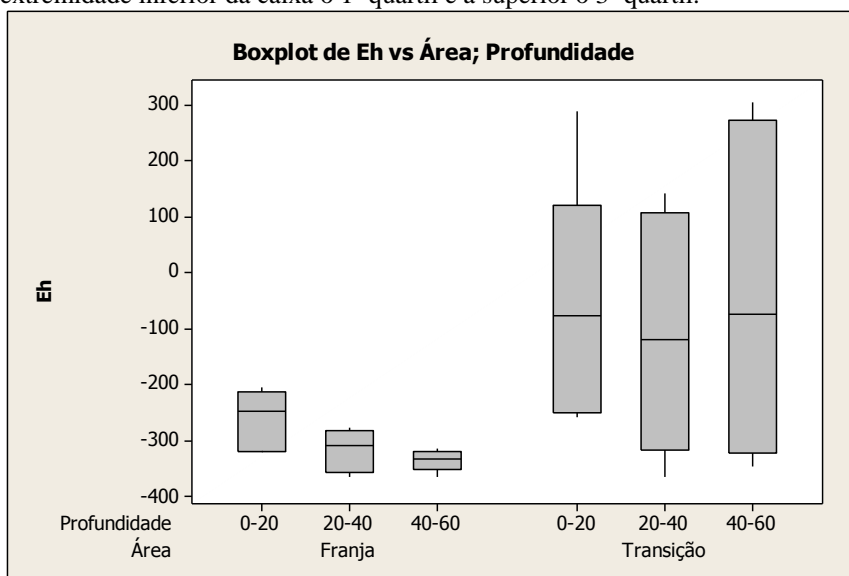
Tabela 3 - Valores médios do potencial de oxirredução (Eh), do pH e da Salinidade no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA.

<b>Fator de variação</b>	<b>Eh<sup>1</sup></b>	<b>pH</b>	<b>Salinidade<sup>2</sup></b>
Região do manguezal			
Franja	-305,5 b	6,74 a	27,01 a
Transição	-70,1 a	6,28 b	20,43 b
Profundidades			
0-20	-165,1 a	6,60 a	17,66 b
20-40	-212,7 a	6,48 a	25,63 a
40-60	-185,5 a	6,43 a	27,87 a
<b>Fator de variação</b>	<b>Eh<sup>1</sup></b>	<b>pH</b>	<b>Salinidade<sup>2</sup></b>
Interações entre os fatores			
Região x Profundidade	ns	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = mV; <sup>2</sup> = %. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas e as profundidades em 5% de significância (n=5). Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

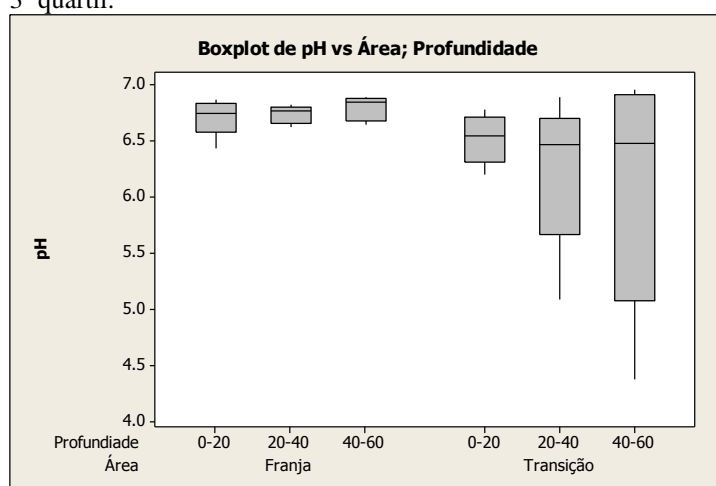
O Eh é muito mais baixo no manguezal de franja do que na zona de transição. O manguezal de franja apresenta menor variação de Eh, diferente da zona de transição que apresenta uma variabilidade bem mais notada (Figura 15).

Figura 15 - Potencial de oxirredução (Eh) do solo nas duas áreas estudadas e nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60cm. O traço indica a mediana, a extremidade inferior da caixa o 1º quartil e a superior o 3º quartil.



O pH apresentou diferença significativa entre as duas áreas estudadas, com maior média de pH ocorrendo no manguezal de franja. Essa propriedade aparenta ter uma relação inversa ao Eh como pode ser observado na Figura 16 quando comparada a Figura 15.

Figura 16 - pH do solo nas duas áreas estudadas e nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60cm. O traço indica a mediana, a extremidade inferior da caixa o 1º quartil e a superior o 3º quartil.



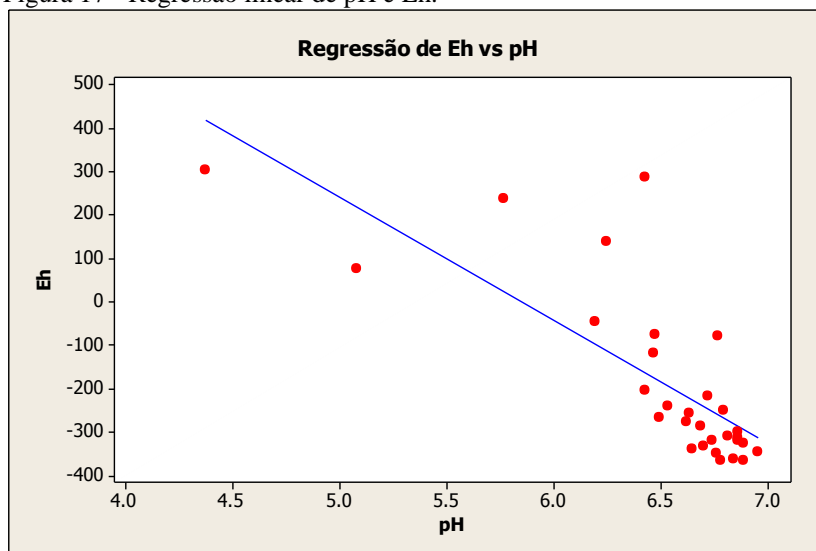
Essas propriedades estão de certa forma inversamente relacionadas, a análise de correlação de Pearson apontam forte correlação negativa entre os dados de pH e Eh ( $-0,774$  e  $p\text{-value}=0,000$ ). A Figura 17 apresenta o gráfico da regressão linear dos dados de pH e Eh que gerou a equação 6 ( $p=0,000$ ,  $R^2=60,0\%$ ):

$$Eh = 1668 - 285 pH$$

**Equação (6)**

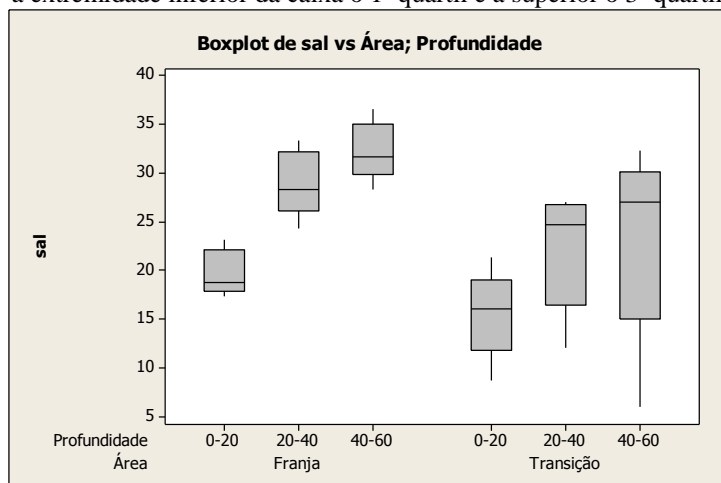
Isso acontece porque as reações de oxirredução ocorrem com transferência de elétrons e de íons  $H^+$ , logo alterações no estado de oxirredução do solo são acompanhadas por mudanças no pH.

Figura 17 - Regressão linear de pH e Eh.



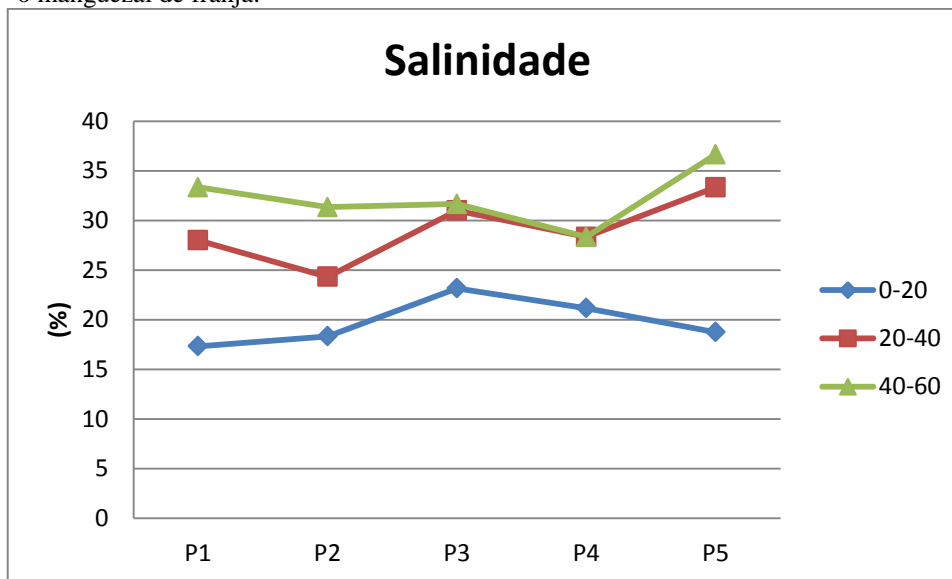
Obteve-se diferença significativa para salinidade tanto entre as duas áreas estudadas quanto para as profundidades. O manguezal de franja é significativamente mais salino que a zona de transição e as profundidades de 20-40cm e 40-60cm são significativamente mais salinas que a profundidade 0-20cm (Figura 18).

Figura 18 - Salinidade do solo nas duas áreas estudadas e nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60cm. O traço indica a mediana, a extremidade inferior da caixa o 1º quartil e a superior o 3º quartil.



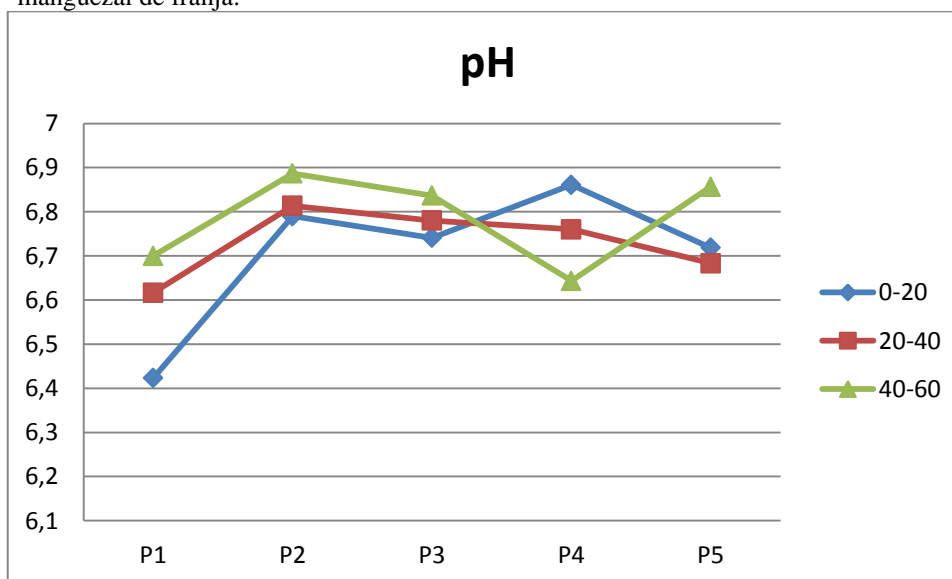
As Figuras 19, 20 e 21 representam a variação da salinidade, do pH e do Eh ao longo do transecto que corta o manguezal de franja e as Figuras 22, 23 e 24 representam a variação dessas propriedades físico-químicas ao longo do transecto que corta a Zona de Transição.

Figura 19 - Variação da salinidade nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal de franja.



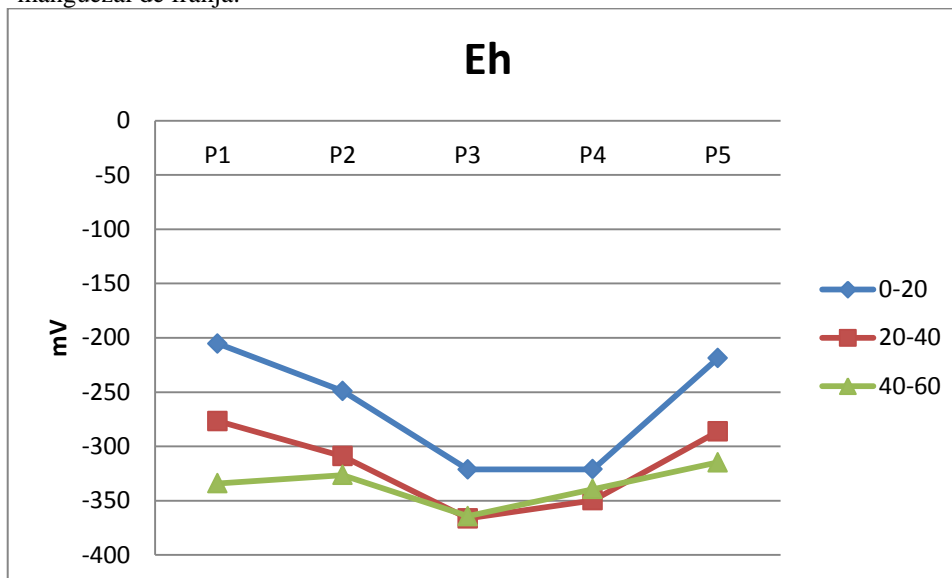
Legenda: P = pontos do manguezal de franja.

Figura 20 - Variação do pH nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal de franja.



Legenda: P = pontos do manguezal de franja.

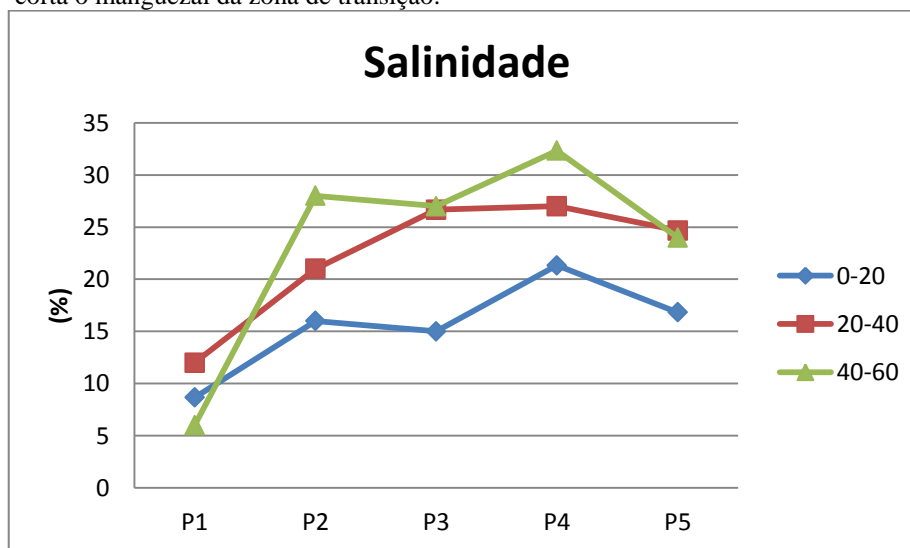
Figura 21 - Variação do Eh nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal de franja.



Legenda: P = pontos do manguezal de franja.

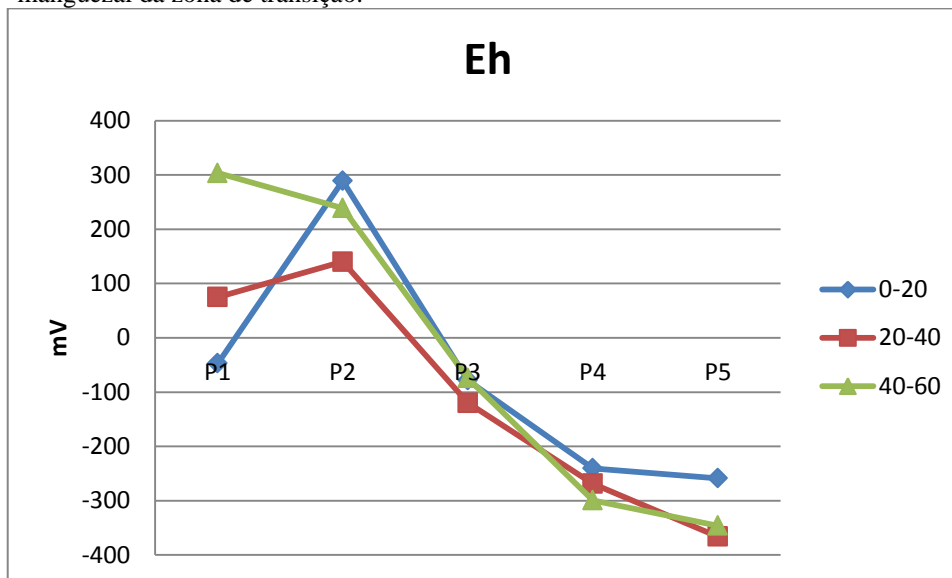
No manguezal de franja a salinidade não varia muito do ponto 1 ao ponto 5. O pH se mantém neutro variando numa faixa de 6,4 a 6,9 e o solo se mantém muito redutor mantendo-se sempre abaixo -200 mV. Na zona de transição há uma grande variação de salinidade, em todas as profundidades os valores de salinidade tendem a aumentar do ponto 1 ao ponto 5. Também há muita variação nos valores de Eh do ponto 1 ao ponto 5 da zona de transição. Os valores de Eh são positivos nos dois primeiros pontos e vão se tornando negativo a partir do terceiro ponto a medida que os solos vão ficando mais redutores. Com relação ao pH, esse é ligeiramente mais ácido nos pontos iniciais do transecto da zona de transição.

Figura 22 - Variação da salinidade nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal da zona de transição.



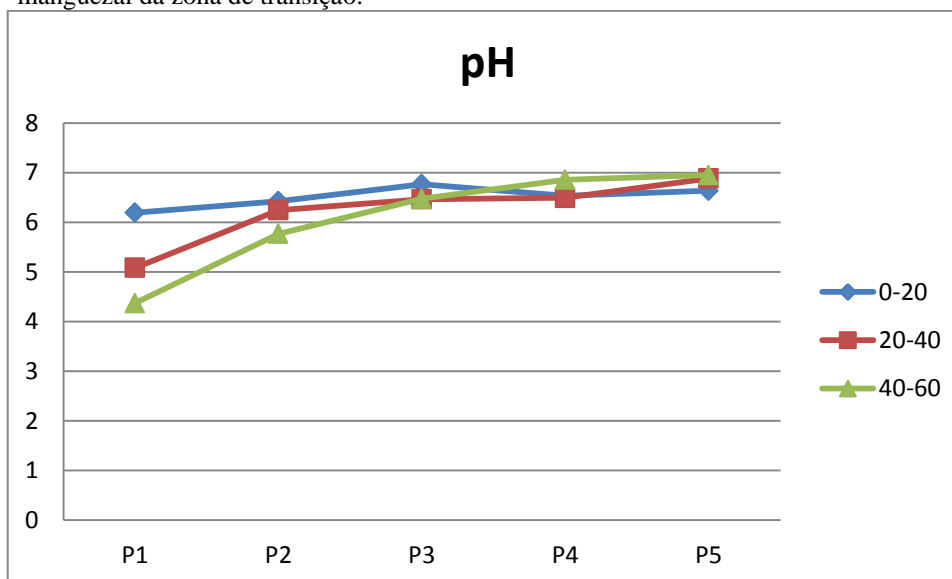
Legenda: P = pontos do manguezal da zona de transição.

Figura 23 - Variação do Eh nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal da zona de transição.



Legenda: P = pontos do manguezal da zona de transição.

Figura 24 - Variação do pH nas três profundidades ao longo do transecto que corta o manguezal da zona de transição.



Legenda: P = pontos do manguezal da zona de transição.

Nessas figuras também se percebe a relação inversa entre o pH e Eh nas duas áreas estudadas e a relação que essas propriedades físico-químicas possuem com o porte da vegetação conforme ilustra a Figura 8.

No manguezal de franja onde a variação dessas propriedades é mais homogênea o porte da vegetação também é homogêneo e no manguezal da zona de transição onde há uma maior variação dessas propriedades físico-químicas o porte da vegetação também acompanha essa variação. Onde o solo possui Eh mais elevado e pH mais ácido, nos pontos iniciais do

transecto, a vegetação apresenta menor porte e onde o Eh é mais baixo e o pH mais básico, nos pontos finais do transecto, a vegetação apresenta maior porte.

### 6.1.3 Nutrientes do solo

As tabelas abaixo apresentam os resultados das análises de macro e micronutrientes do solo. Alguns nutrientes apresentaram diferenças significativas entre os períodos coletados e todos os nutrientes apresentaram diferenças entre os sítios estudados. A Tabela 4 apresenta as médias das concentrações dos micronutrientes no solo das duas áreas nos dois períodos coletados e nas três diferentes profundidades.

Tabela 4 - Valores médios das concentrações de micronutrientes no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA.

<b>Fator de variação</b>	<b>Cu<sup>1</sup></b>	<b>Zn<sup>1</sup></b>	<b>Mn<sup>1</sup></b>	<b>Fe<sup>1</sup></b>
<b>Região do manguezal</b>				
Franja	0,61 a	6,13 a	51,16 a	2.730 a
Transição	0,27 b	1,60 b	17,54 b	1.100 b
<b>Período de coleta</b>				
Chuvoso	0,16 b	5,36 a	36,24 a	2.190 a
Estiagem	0,73 a	2,37 b	32,46 a	1.640 b
<b>Profundidade</b>				
0-20	0,55 a	3,71 a	25,77 a	1.840 a
20-40	0,38 a	3,75 a	34,61 a	1.880 a
40-60	0,39 a	4,13 a	42,67 a	2.030 a
<b>Interações entre os fatores</b>				
Região x Período	ns	ns	ns	ns
Região x Profundidade	ns	ns	ns	ns
Período x Profundidade	ns	ns	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = mg kg<sup>-1</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas, os períodos coletados e as profundidades em 5% de significância (n=5). Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

Todos os micronutrientes apresentaram maiores médias de concentração no bosque de franja. Cu foi o único micronutriente que apresentou maior valor médio de concentração durante o período de estiagem, enquanto que Fe e Zn tiveram maiores médias durante o período chuvoso. Não foi verificada diferença significativa entre as profundidades estudadas para os micronutrientes. A Tabela 5 apresenta as médias de concentrações dos cátions trocáveis do complexo sortivo do solo.



Tabela 5 - Valores médios das concentrações dos macronutrientes Mg, Ca, K, Na, e Al no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA.

<b>Fator de variação</b>	<b>Mg<sup>1</sup></b>	<b>Ca<sup>1</sup></b>	<b>K<sup>1</sup></b>	<b>Na<sup>1</sup></b>	<b>Al<sup>1</sup></b>
Região do manguezal					
Franja	18,26 a	7,10 a	4,46 a	10,53 a	3,96 a
Transição	6,38 b	2,64 b	2,21 b	4,35 b	2,85 b
Período de coleta					
chuvoso	13,51 a	6,46 a	2,70 b	8,22 a	2,84 b
estiagem	11,13 b	3,28 b	3,97 a	6,65 b	3,98 a
Profundidade					
0-20	11,38 a	4,44 a	2,60 a	6,90 a	2,37 b
20-40	11,48 a	5,03 a	3,73 a	7,55 a	3,87 ab
40-60	14,10 a	5,13 a	3,68 a	7,87 a	3,97 a
Interações entre os fatores					
Região x Período	ns	**	ns	ns	ns
Região x Profundidade	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Fator de variação</b>	<b>Mg<sup>1</sup></b>	<b>Ca<sup>1</sup></b>	<b>K<sup>1</sup></b>	<b>Na<sup>1</sup></b>	<b>Al<sup>1</sup></b>
Período x Profundidade	**	ns	ns	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas, os períodos coletados e as profundidades em 5% de significância (n=5). Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

Todos os cátions tiveram maiores médias no bosque de franja. K e Al foram os únicos que apresentaram as maiores médias durante o período de estiagem. Quanto à profundidade Al apresentou diferença significativa com os maiores valores na profundidade 40-60 cm. Ca apresentou interação significativa entre a região do bosque e o período coletado e Mg apresentou interação significativa entre o período de coleta e a profundidade. Os macronutrientes P, S, N, e C que são constituintes da matéria orgânica têm as suas médias apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores médios das concentrações dos macronutrientes P, S, N, e C no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA.

<b>Fator de variação</b>	<b>P<sup>1</sup></b>	<b>S<sup>2</sup></b>	<b>N<sup>2</sup></b>	<b>C<sup>2</sup></b>
(continua)				
Região do manguezal				
Franja	28,47 a	10,96 a	2,39 a	39,72 a
Transição	9,65 b	3,46 b	0,65 b	21,14 b
Período de coleta				
chuvoso	17,93 a	7,08 a	1,38 b	29,76 a
estiagem	20,19 a	7,34 a	1,66 a	31,09 a
Profundidades				
0-20	19,55 a	5,43 b	1,58 a	28,73 a
20-40	17,30 a	7,54 ab	1,40 a	31,09 a
40-60	20,33 a	8,66 a	1,58 a	31,45 a

Tabela 6 - Valores médios das concentrações dos macronutrientes P, S, N, e C no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA.

Fator de variação	P <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	N <sup>2</sup>	(conclusão)
				C <sup>2</sup>
Interações entre os fatores				
Região x Período	ns	ns	ns	ns
Região x Profundidade	**	ns	ns	ns
Período x Profundidade	*	ns	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = mg kg<sup>-1</sup>; <sup>2</sup> = g kg<sup>-1</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas, os períodos coletados e as profundidades em 5% de significância (n=5). Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

Assim como ocorreu para os outros nutrientes, P, S, N e C apresentam maiores concentrações no solo do manguezal de franja. Durante o período de estiagem apenas o N apresenta maior valor médio variando significativamente. O S apresenta diferença significativa entre as profundidades e assim como acontece para o Al os valores aumentam a medida que se aumenta a profundidade. O P apresenta interação significativa entre a região e profundidade e entre período e profundidade. Na Tabela 7 estão apresentados os valores encontrados para a CTC efetiva, para a saturação por alumínio e para a relação C/N.

Tabela 7 - Valores médios da Capacidade de Troca de Cátions efetiva (CTC ef.), da Saturação por Alumínio (m) e da relação C/N no solo dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 em São João de Pirabas, PA.

Fator de variação	CTC ef. <sup>1</sup>	m <sup>2</sup>	C/N
Região do manguezal			
Franja	43,72 a	10,64 b	19,05 b
Transição	17,49 b	15,41 a	38,49 a
Período de coleta			
chuvoso	33,73 a	8,77 b	34,68 a
estiagem	27,49 b	17,28 a	22,86 b
Profundidades			
0-20	21,59 c	12,57 a	30,25 a
20-40	32,42 b	13,7 a	29,46 a
40-60	37,82 a	12,81 a	26,61 a
Interações entre os fatores			
Região x Período	ns	ns	ns
Região x Profundidade	**	ns	ns
Período x Profundidade	ns	ns	*

Legenda: <sup>1</sup> = cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; <sup>2</sup> = %. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas, os períodos coletados e as profundidades em 5% de significância (n=5). Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

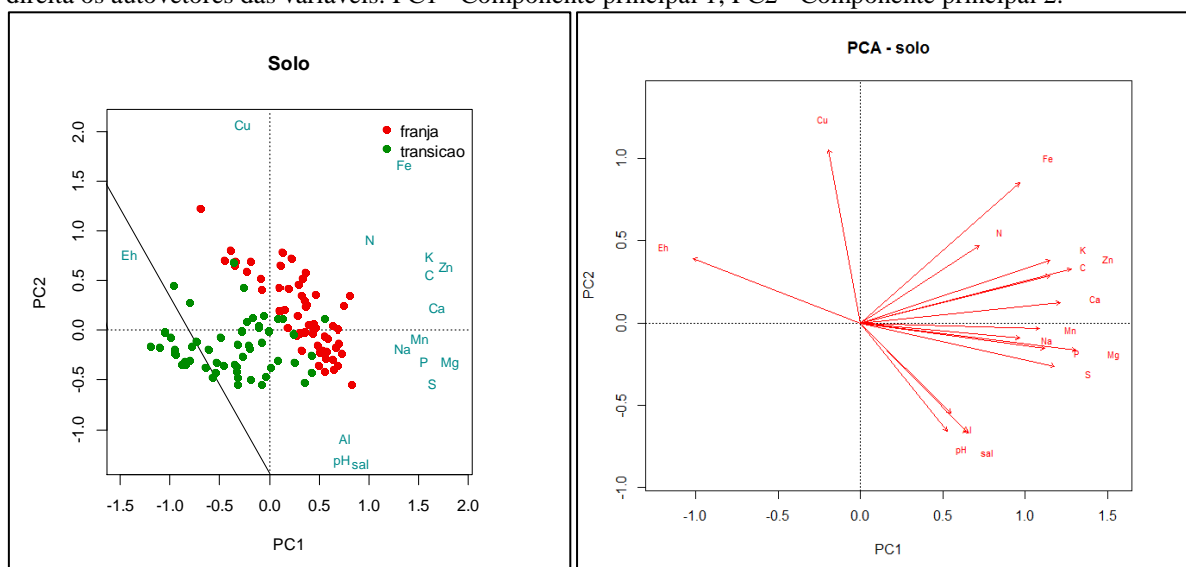
O bosque de franja apresentou Capacidade de Troca de Cátions efetiva bem superior ao valor do bosque de transição. Já o bosque de transição apresentou valores médios de saturação por alumínio e de relação Carbono/Nitrogênio superior ao bosque de franja. A CTC

segiu o padrão do alumínio com relação à profundidade e apresentou interação significativa entre a profundidade e a região do manguezal. A razão C/N apresentou interação significativa entre período e profundidade.

As Tabelas 20 e 21 no Apêndice A trazem uma comparação dos valores de nutrientes do solo encontrados nesse estudo com os manguezais de outras regiões do país e do mundo. Os solos aqui estudados ao serem comparados com os resultados de outros estudos mostraram-se muito ricos principalmente com relação aos cátions trocáveis. Mesmo os solos da zona de transição que são menos ricos em nutrientes do que os solos do manguezal de franja nesse estudo apresentam valores de concentração de nutrientes similares aos de outros manguezais de outros tipos fisiográficos.

A Análise de Componentes Principais com os dados de solo gerou o diagrama de ordenação e os autovetores representados na Figura 25. A componente principal 1 (PC1) explica 51,3% da variância dos dados e a componente principal 2 (PC2) explica 12,6%, juntas correspondem a 63,9% da variância (Tabela 8).

Figura 25 - Análise de componentes principais dos nutrientes, Eh, pH e salinidade no solo: à esquerda diagrama de ordenação identificando os pontos do manguezal de franja em vermelho e da zona de transição em verde; à direita os autovetores das variáveis. PC1= Componente principal 1; PC2= Componente principal 2.



A componente principal 1 é a que mais claramente discrimina as duas áreas estudadas. O posicionamento das áreas em relação à PC1 e PC2 (Figura 25) reflete a influência que cada variável possui na definição do valor de cada componente. Áreas que ocupam uma dada posição no plano dos eixos PC1 e PC2 são influenciadas principalmente pelas variáveis que ocupam estas mesmas posições ou posições opostas. Portanto, observa-se que a PC1 é influenciada positivamente pela grande maioria dos nutrientes (Fe, N, Mn, Mg, Ca, P, K, C,

Na, Zn). Observa-se uma relação oposta entre esses nutrientes e o Eh (potencial de oxirredução). Da mesma maneira a componente principal 2 apresenta uma relação de oposição entre Cu e pH e uma relação entre as variáveis pH, Al e Salinidade.

Tabela 8 - Autovalores e variâncias explicadas pelas Componentes Principais e variância cumulativa da Análise de Componentes Principais dos dados do solo.

PC	Autovalores	Variância explicada (%)	Variância cumulativa (%)
1	8,21	51,3	51,3
2	2,01	12,6	63,9
3	1,43	8,9	72,8
4	0,84	5,3	78,1
5	0,8	5,0	83,1
6	0,59	3,7	86,8
7	0,47	2,9	89,7
8	0,41	2,6	92,2
9	0,35	2,2	94,4
10	0,22	1,4	95,8
11	0,21	1,3	97,1
12	0,18	1,1	98,2
13	0,12	0,7	98,9
14	0,06	0,4	99,3
15	0,05	0,3	99,7
16	0,04	0,2	100

## 6.2 Nutrientes em folhas de *Rhizophora mangle*

As árvores de mangue vermelho dos dois bosques apresentam parâmetros estruturais distintos conforme dados fornecidos pela equipe de pesquisadores da Coordenação de Botânica do Museu Paraense Emílio Goeldi (CBO-MPEG) apresentados na Tabela 9.

O bosque de franja apresenta árvores de maior altura média (12,52m), porém as duas áreas não são estatisticamente diferentes com relação a CAP (Circunferência a Altura do Peito), embora o valor do Coeficiente de Variação (CV) demonstre maior distância entre a média e os valores máximos e mínimos no bosque de franja, ou seja, o bosque de franja

possui árvores maiores em altura, mas com CAP semelhante ao bosque da zona de transição e diferente desse último apresenta grande variação dos valores extremos de CAP.

Tabela 9 - Altura e circunferência a altura do peito (CAP) de *Rhizophora mangle* L. no manguezal de franja da Ilha de Itarana e da zona de transição com a vegetação de capoeira.

	Altura (m)		CAP (cm)	
	Franja	Transição	Franja	Transição
Mediana	12 a	8 b	51,5 a	62 a
Média	12,52	9,67	62,19	61,23
CV	35,53%	37,04%	53,57%	33,56%
Máximo	30	16	165	117
Mínimo	5	3	21	30

Legenda: foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e as comparações feitas pelo teste de Dunn. Letras iguais não diferem estatisticamente entre as áreas. Fonte: Bastos, Lins e Castro (não publicado).

Nas folhas de *Rhizophora mangle* os nutrientes apresentaram comportamento diferente do encontrado para o solo. Na Tabela 10 nota-se que dos micronutrientes apenas o Mn mostrou ter diferença significativa entre as duas áreas estudadas. No entanto os outros micronutrientes tiveram diferenças significativas com relação ao período de coleta: as médias de Cu e Zn são maiores no período de estiagem e Fe tem média superior no período chuvoso. Zn também apresentou interação significativa entre a região e o período.

Tabela 10 - Valores médios das concentrações de micronutrientes nas folhas de *Rhizophora mangle* dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.

Fator de variação	Cu <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>	Mn <sup>1</sup>	Fe <sup>1</sup>
Região do manguezal				
Franja	1,09 a	1,37 a	246,76 a	85,72 a
Transição	1,08 a	1,93 a	136,78 b	56,04 a
Período de coletas				
Chuvoso	0,09 b	0,94 b	195,03 a	93,88 a
Estiagem	2,08 a	2,36 a	188,51 a	47,87 b
Interações entre os fatores				
Região x Período	ns	**	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = mg kg<sup>-1</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas e os períodos coletados em 5% de significância. Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

Os macronutrientes Na e Mg apresentaram diferenças em relação as áreas estudadas. O primeiro possui maior média no manguezal de franja e o segundo na zona de transição. Com relação ao período de coleta, Mg, Ca, K e Na apresentaram diferenças significativas, a maioria com maiores médias no período chuvoso com exceção de K que apresentou maior valor de concentração média no período de estiagem (Tabela 11).

Tabela 11 - Valores médios das concentrações dos macronutrientes Mg, Ca, K e Na nas folhas de *Rhizophora mangle* dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.

<b>Fator de variação</b>	<b>Mg<sup>1</sup></b>	<b>Ca<sup>1</sup></b>	<b>K<sup>1</sup></b>	<b>Na<sup>1</sup></b>
Região do manguezal				
Franja	2,74 b	8,00 a	6,94 a	14,33 a
Transição	4,06 a	8,89 a	7,66 a	10,58 b
Período de coletas				
Chuvoso	3,87 a	10,06 a	3,57 b	15,96 a
Estiagem	2,93 b	6,84 b	11,04 a	8,95 b
Interações entre os fatores				
Região x Período	ns	ns	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = g kg<sup>-1</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas e os períodos coletados em 5% de significância. Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

O macronutriente P não apresentou diferenças com relação ao local coletado e em relação ao período de coleta. Ao contrário do P os outros três macronutrientes, S, N e C exibem diferenças para os dois fatores. C e S possuem concentrações médias em folhas de *Rhizophora mangle* maior na área de transição e N tem a maior concentração nas folhas do manguezal de franja. N e C tem concentrações médias maiores durante a estiagem e S durante o período de chuvas (Tabela 12).

Tabela 12 - Valores médios das concentrações dos macronutrientes P, S, N e C nas folhas de *Rhizophora mangle* dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.

<b>Fator de variação</b>	<b>P<sup>1</sup></b>	<b>S<sup>1</sup></b>	<b>N<sup>1</sup></b>	<b>C<sup>1</sup></b>
(continua)				
Região do manguezal				
Franja	0,90 a	3,06 b	13,34 a	435,45 b
Transição	0,85 a	7,20 a	11,24 b	468,19 a

Tabela 12 - Valores médios das concentrações dos macronutrientes P, S, N e C nas folhas de *Rhizophora mangle* dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.

Fator de variação	P <sup>1</sup>	S <sup>1</sup>	N <sup>1</sup>	(conclusão)
				C <sup>1</sup>
Período de coletas				
Chuvoso	0,85 a	6,44 a	11,24 b	444,45 b
Estiagem	0,90 a	3,82 b	13,44 a	459,19 a
Interações entre os fatores				
Região x Período	ns	ns	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = g kg<sup>-1</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas e os períodos coletados em 5% de significância. Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

As Tabelas 22 e 23 no Apêndice A apresentam uma comparação dos valores de macro e micronutrientes das folhas de *Rhizophora mangle* desse estudo com os de outros estudos em manguezais do Brasil e do mundo e com outras espécies de mangue. Os resultados mostram a preferência de *Rhizophora mangle* na absorção do Mn quando comparada as outras espécies de mangue e que os valores desse estudo nas duas áreas estão dentro da faixa reportada por outros estudos para a espécie *Rhizophora mangle*.

A ACP permite inferir que em folhas de *Rhizophora mangle* o período de coleta tem maior efeito sobre os nutrientes do que a região do manguezal (bosque de franja ou uma zona de transição). Na tabela 13 nota-se que a componente principal 1 (PC1) corresponde por 37,44% da variância. Essa componente separa os escores do período chuvoso e de estiagem claramente (Figura 26). Enquanto que a componente principal 2 (PC2) que de acordo com a Tabela 13 corresponde por 24,11% da variância é a que melhor separa os dados entre as duas regiões, manguezal de franja e zona de transição. Essas duas componentes respondem por 61,55% da variância.

Os micronutrientes de um modo geral seguiram a seguinte ordem nas folhas de *Rhizophora mangle*: Mn>Fe>Zn>Cu. Os macronutrientes apresentaram a seguinte ordem de concentração: C > Na > N > Ca > S > K > Mg > P nas folhas do bosque de franja e C > N > Na > Ca > K > S > Mg > P nas folhas da zona de transição.

Figura 26 - Análise de componentes principais dos nutrientes m folhas de *Rhizophora mangle*: acima à esquerda os autovetores das variáveis, acima a direita diagrama de ordenação identificando os pontos do período chuvoso em vermelho e do período de estiagem em verde e no centro abaixo diagrama de ordenação identificando os pontos do manguezal de franja em vermelho e da zona de transição em verde. PC1= Componente principal 1; PC2= Componente principal 2.

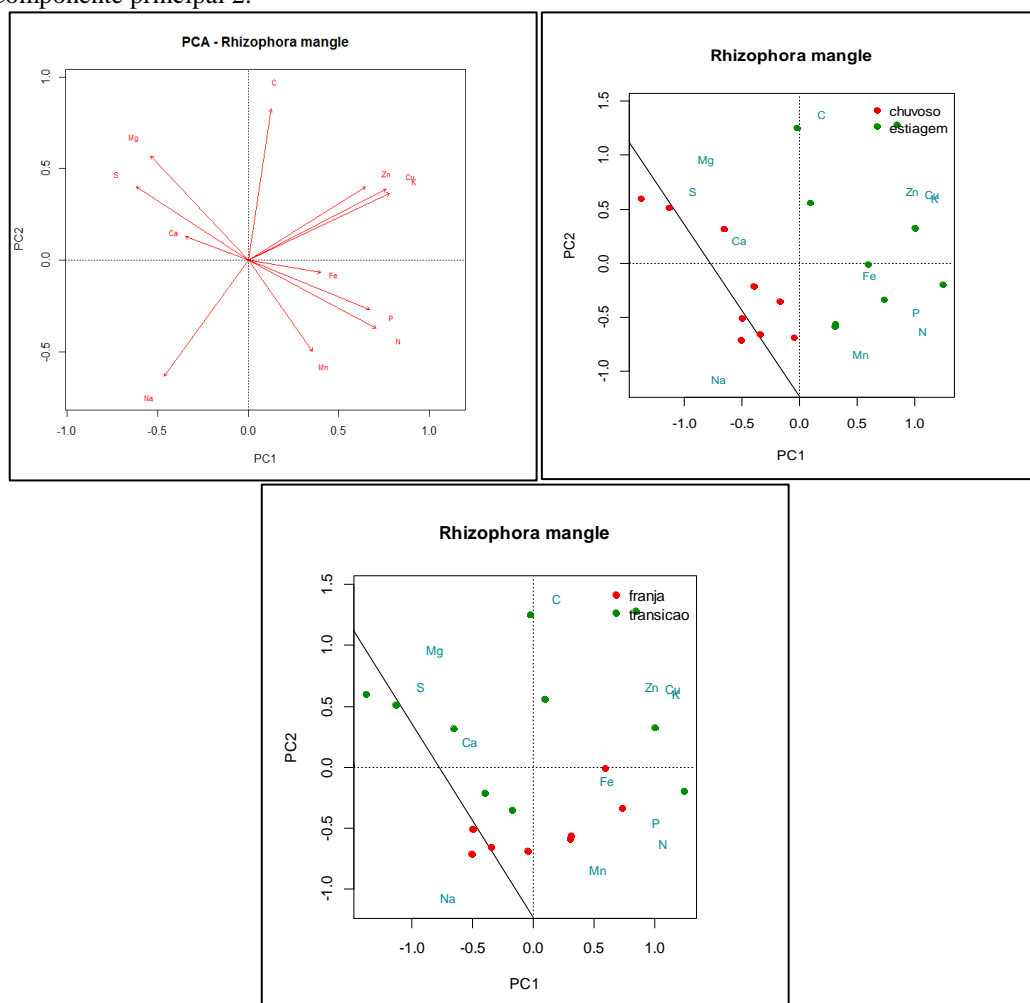


Tabela 13 - Autovalores e variâncias explicadas pelas Componentes Principais e variância cumulativa da Análise de Componentes Principais dos dados das folhas de *Rhizophora mangle*.  
(continua)

PC	Autovalores	Variância explicada (%)	Variância cumulativa (%)
1	4,49	37,44	37,44
2	2,89	24,11	61,55
3	2,07	17,26	78,81
4	0,78	6,50	85,31
5	0,60	5,04	90,35
6	0,43	3,56	93,91
7	0,23	2,30	96,21
8	0,22	1,86	98,07



Tabela 13 - Autovalores e variâncias explicadas pelas Componentes Principais e variância cumulativa da Análise de Componentes Principais dos dados das folhas de *Rhizophora mangle*. (conclusão)

PC	Autovalores	Variância explicada (%)	Variância cumulativa (%)
9	0,10	0,86	98,93
10	0,08	0,71	99,64
11	0,03	0,27	99,91
12	0,01	0,09	100

A Tabela 14 apresenta a razão N/P do tecido foliar de *Rhizophora mangle*. Não houve efeito estatístico para nenhum dos fatores de análise em relação a esse parâmetro de avaliação.

Tabela 14 - Valores médios da razão N/P nas folhas de *Rhizophora mangle* dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.

Fator de variação	N/P
Região do manguezal	
Franja	14,85 a
Transição	13,30 a
Período de coleta	
Chuvoso	13,17 a
Estiagem	14,98 a
Interações entre os fatores	
Região x Período	ns

Legenda: Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas e os períodos coletados em 5% de significância. Os asteriscos (\*) representam  $p < 0,05$  e (\*\*)  $p < 0,01$  e para  $p \geq 0,05$  usou-se “ns” (não significativo).

O fator de concentração (ou fator de transferência FC) está apresentado na Tabela 15, onde nota-se que a concentração dos nutrientes nas folhas é bem superior a do solo para Mn no bosque de franja e para Mn, Zn e Cu no bosque de manguezal da zona de transição. O valor desse fator geralmente se localiza entre 0 e 1, porém, quando há uma grande transferência os valores ultrapassam esse valor como ocorreu nesse estudo.

Tabela 15 - Fator de concentração dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn.

Metal	Franja	Transição	Sudeste do Brasil <sup>1</sup>	São Gonçalo (Brasil) <sup>2</sup>
Fe	0,02	0,19	<0,0	0,15
Mn	5,75	28,98	2,0	4,1
Zn	0,26	10,71	0,5	0,65
Cu	0,72	13,53	<0,01	0,7

Legenda: <sup>1</sup>Lacerda (1997); <sup>2</sup>Oliveira, Bressan e Silva-Filho (1998).

### 6.3 Nutrientes em folhas de serapilheira

Nas folhas da serapilheira apenas o micronutriente Mn mostrou ter diferenças quanto à área de coleta, com maior média no manguezal do bosque de franja. Em relação ao período de coleta Mn e Cu tiveram diferença significativa com média de concentração maior no período de estiagem (Tabela 16).

Tabela 16 - Valores médios das concentrações de micronutrientes nas folhas de serapilheira dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.

Fator de variação	Cu <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>	Mn <sup>1</sup>	Fe <sup>1</sup>
Região do manguezal				
Franja	1,32 a	10,90 a	314,03 a	5,52 a
Transição	1,04 a	7,54 a	107,20 b	2,96 a
Período de coleta				
Chuvoso	0,24 b	7,10 a	146,18 b	3,85 a
Estiagem	2,12 a	11,34 a	275,06 a	4,64 a
Interações entre os fatores				
Região x Período	ns	ns	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = mg kg<sup>-1</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas e os períodos coletados em 5% de significância. Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

Os macronutrientes representados na Tabela 17 não tiveram diferenças significativas de uma área à outra. Na e K apresentaram maiores médias de concentrações no período de estiagem e Ca no período de chuvas. Ca teve interação significativa entre a área de coleta e o período de coleta.

Tabela 17 - Valores médios das concentrações dos macronutrientes Mg, Ca, K e Na nas folhas de serapilheira dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.

<b>Fator de variação</b>	<b>Mg<sup>1</sup></b>	<b>Ca<sup>1</sup></b>	<b>K<sup>1</sup></b>	<b>Na<sup>1</sup></b>
Região do manguezal				
Franja	4,06 a	8,21 a	3,95 a	12,30 a
Transição	4,30 a	7,60 a	3,16 a	10,98 a
Período de coletas				
Chuvoso	4,20 a	9,37 a	0,94 b	8,35 b
Estiagem	4,16 a	6,44 b	6,18 a	14,93 a
Interações entre os fatores				
Região x Período	ns	*	ns	ns

Legenda: <sup>1</sup> = g kg<sup>-1</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas e os períodos coletados em 5% de significância. Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

Os macronutrientes P, S, N e C não apresentaram diferenças significativas para nenhum dos fatores em folhas de serapilheira. Porém, o C tem interação significativa para os fatores de variação (Tabela 18).

Tabela 18 - Valores médios das concentrações dos macronutrientes P, S, N e C nas folhas de serapilheira dos bosques de franja e de transição no período chuvoso (abril de 2012) e de estiagem (setembro de 2011) em São João de Pirabas, PA.

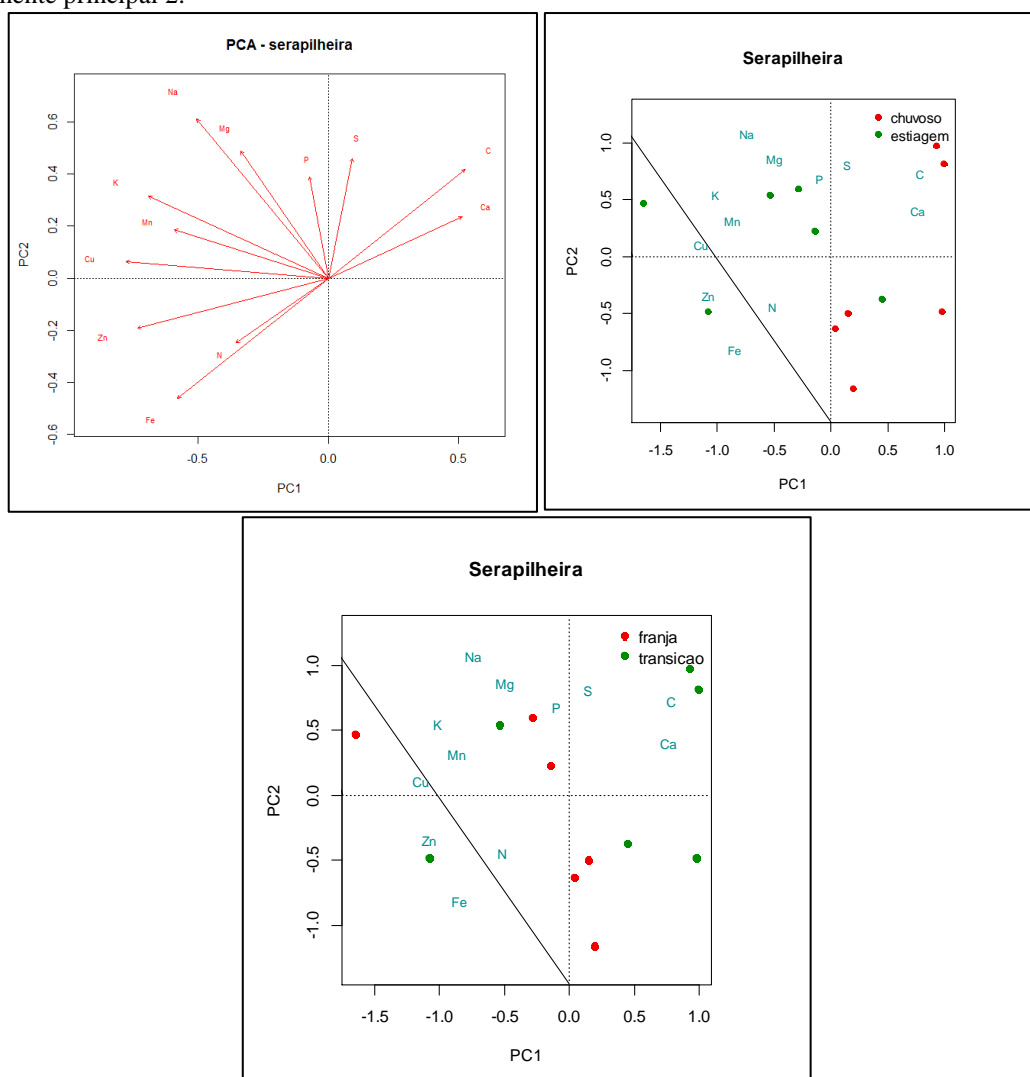
<b>Fator de variação</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>C</b>
Região do manguezal				
Franja	0,45 a	8,34 a	5,37 a	451,61 a
Transição	0,38 a	10,45 a	4,34 a	446,85 a
Período de coletas				
Chuvoso	0,41 a	9,55 a	4,76 a	442,98 a
Estiagem	0,42 a	9,24 a	4,95 a	455,48 a
Interações entre os fatores				
Região x Período	ns	ns	ns	*

Legenda: <sup>1</sup> = g kg<sup>-1</sup>. Letras distintas comparam as médias dentro das colunas entre as áreas estudadas e os períodos coletados em 5% de significância. Os asteriscos (\*) representam p < 0,05 e (\*\*) p < 0,01 e para p ≥ 0,05 usou-se “ns” (não significativo).

De acordo com a Figura 27 a componente principal 1 é a que melhor separa os dados em relação ao período de coleta. Essa componente explica 40,5% da variância total dos dados

(Tabela 19) e é influenciada positivamente pelos nutrientes Ca, C e S e negativamente pelos outros nutrientes.

Figura 27 - Análise de componentes principais dos nutrientes em folhas de serapilheira: acima à esquerda os autovetores das variáveis, acima a direita diagrama de ordenação identificando os pontos do período chuvoso em vermelho e do período de estiagem em verde e no centro abaixo diagrama de ordenação identificando os pontos do manguezal de franja em vermelho e da zona de transição em verde. PC1= Componente principal 1; PC2= Componente principal 2.



A componente principal 2 explica 20,0% da variância dos dados (Tabela 19) e junto a PC1 respondem por 60,5% da variância dos dados. Essa componente é influenciada negativamente por Fe, N e Zn.

Tabela 19 - Autovalores e variâncias explicadas pelas Componentes Principais e variância cumulativa da Análise de Componentes Principais dos dados das folhas de serapilheira.

PC	Autovalores	Variância explicada (%)	Variância cumulativa (%)
1	4,86	40,5	40,5
2	2,4	20,0	60,5
3	2,04	17,0	77,5
4	1,16	9,7	87,2
5	0,73	6,1	93,3
6	0,33	2,7	96,0
7	0,26	2,2	98,2
8	0,14	1,1	99,3
9	0,05	0,4	99,7
10	0,02	0,2	99,9
11	0,01	0,1	100

## 7. DISCUSSÃO

O manguezal é um ecossistema extremamente dinâmico sujeito a variações temporais e espaciais que modificam as características ambientais e que podem interferir na resposta fisiológica da biota desse ecossistema. Nesse estudo os efeitos das variações espaciais e temporais podem ser comprovados através das diferenças nutricionais encontradas nos solos, nas folhas de *Rhizophora mangle* e na serapilheira de duas áreas de manguezal próximas (variação espacial) e de dois períodos pluviométricos distintos (variação temporal). Porém, há que se observar que os nutrientes desses compartimentos (solo, folhas, serapilheira) não seguem um padrão de variação comum aos três.

Com relação às variações espaciais, a análise dos nutrientes do solo da área de manguezal e da área transicional mostra a grande diferença em termos nutricionais entre elas, afinal, todos os nutrientes analisados diferiram significativamente entre as duas áreas. O manguezal apresenta as maiores concentrações de nutrientes, o que claramente reflete no porte e na estrutura da vegetação.

Segundo Ball (1996) a disponibilidade e a distribuição dos nutrientes nas florestas de mangue são fortemente determinadas pelo regime de marés. A maré transporta nutrientes dissolvidos, principalmente na forma de sais, e particulados em suspensão, além de transportar a serapilheira para dentro e para fora do ecossistema. Os bosques de franja, diferente dos bosques localizados nas zonas transicionais que só são banhados pelas marés de maior amplitude e com menor frequência, por se localizarem margeando as bordas de estuários, baías e ilhas são diariamente inundados e lavados pelas marés, sendo essa uma das características que definem esse tipo fisiográfico (LUGO; SNEDAKER, 1974). Logo nutrientes como o Na, K, Ca e Mg (que formam sais dissolvidos na água do mar) são mais presentes no solo do manguezal de franja.

Entretanto, o regime de marés não é o único fator que rege a concentração de nutrientes do solo diferenciando as duas áreas. A granulometria e as características texturais do solo exercem influência sobre os nutrientes e indicadores de fertilidade como a CTC. Solos mais arenosos geralmente apresentam CTC e matéria orgânica mais baixos que solos argilosos (SOUZA et al., 1996). Os solos argilosos são mais ricos em nutrientes porque esses formam colóides que apresentam maior superfície específica com maior capacidade de adsorção de moléculas polares; os cátions trocáveis (MENDONÇA, 2006).

A zona de transição manguezal x floresta secundária apresenta um gradiente textural que parte desde arenoso até franco argilo siltoso, diferente da área de manguezal de franja que

no triângulo textural da Figura 13 concentra quase todas as amostras na textura argila siltosa. Essa pode ser a razão da maior Capacidade de Troca de Cátions efetiva no manguezal de franja e uma das razões para que se forme um gradiente na altura das árvores de *Rhizophora mangle* na zona de transição (Figura 8) acompanhando a mudança na granulometria da área.

Dentre as propriedades físico-químicas que diferenciam os dois sítios e que podem influenciar na disponibilidade de nutrientes do solo merecem destaque o potencial de oxirredução (Eh), o pH e a salinidade. Ball (1996) afirma que os padrões de inundação pela maré influenciam o grau de saturação do solo por água que consequentemente influencia o potencial de oxirredução do solo. Segundo essa autora, o potencial de oxirredução possui as maiores implicações para a disponibilidade dos micro e macro nutrientes.

Devido à diminuição da taxa de difusão do oxigênio nos solos alagados (cerca de 10.000 vezes menor que a taxa de difusão do ar) ocorre a proliferação de bactérias anaeróbias facultativas e obrigatórias que obtêm energia da oxidação do C orgânico utilizando outros receptores de elétrons no lugar do O<sub>2</sub>, seguindo a sequência termodinâmica: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mn<sup>4+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>2</sub> (metanogênese), N<sub>2</sub> e H<sup>+</sup> (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007; FERREIRA, 2006; SOUZA; VAHL; OTERO, 2009).

Esse fenômeno explica as maiores concentrações de Fe e Mn no manguezal de franja que é mais frequentemente inundado e apresenta menor Eh (-305,5). Em condições redutoras o Mn<sup>4+</sup> é reduzido a Mn<sup>2+</sup> e o Fe<sup>3+</sup> é reduzido a Fe<sup>2+</sup>. No estado reduzido o Mn é móvel, mas ao se oxidar este micronutriente precipita, portanto quando ocorre a redução do Mn<sup>3+</sup>, há um aumento na mobilidade do Mn e consequente aumento na sua concentração. Processo semelhante ocorre com o nutriente Fe. Quando esse nutriente é submetido a condições de baixo Eh, ele é então reduzido a Fe<sup>2+</sup> com o natural aumento da sua solubilidade (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007; SOUZA; VAHL; OTERO, 2009).

Pode-se inferir a partir disso que a mesma situação ocorre com relação ao período de coleta. Segundo Berrêdo, Costa e Progene (2008) no período de estiagem há um aumento da evapotranspiração e ressecamento do solo deixando-os mais expostos e passíveis de sofrerem oxidação, logo no período chuvoso os poros do solo estão mais preenchidos com água o que pode levar a uma redução do Eh aumentando a mobilidade do íon Fe<sup>2+</sup>.

O Eh e pH possuem uma relação inversa, já que as reações de oxirredução ocorrem com transferência de elétrons e de íons H<sup>+</sup>. Assim, qualquer alteração no estado de oxirredução do solo é acompanhada por mudanças no pH. Quando se está sob condições de

baixo Eh há um aumento do pH do solo porque os elétrons excedentes da respiração dos organismos são descarregados em compostos que sofrem redução, os quais reagem com o  $H^+$  do meio, diminuindo sua concentração (SOUZA; VAHL; OTERO, 2009).

O potencial de oxirredução também interfere na concentração dos nutrientes Cu e Zn, não em virtude da reação de oxirredução, mas pelo aumento indireto do pH. O pH é a propriedade que mais influencia os micronutrientes Cu e Zn. O aumento no pH incrementa a adsorção desses metais nos colóides diminuindo sua mobilidade (FAGERIA; ARAÚJO; STONE, 2009). Porém, nesse estudo o pH manteve-se levemente ácido nas duas áreas (6,74 no manguezal de franja e 6,28 na zona de transição) e parece não ter exercido influencia na diferenciação das duas áreas com relação a Cu e Zn já que as maiores concentrações desses nutrientes ocorreram no bosque de franja mesmo com valores de pH bem semelhantes.

Com relação aos cátions trocáveis, ao contrário do esperado, as maiores concentrações de Na, Mg e Ca se deram no período chuvoso apenas o macronutriente K teve maior concentração durante a estiagem. Cuzzuol e Rocha (2012) obtiveram resultado semelhante em um estudo no estuário do Rio Mucuri na Bahia. Nesse caso o cátion Ca também apresentou maior média no período chuvoso e os autores defendem a existência de outros fatores ambientais agindo na concentração deste elemento além das águas oceânicas.

O maior aporte de sedimentos ricos nesses cátions e a lixiviação dessas bases pelo aumento da descarga da drenagem continental durante o período chuvoso podem estar influenciando as maiores concentrações neste período. Essa menor concentração de cátions no período de estiagem é demonstrada pela capacidade de troca de cátions efetiva CTC ef. que também é menor no período de estiagem.

Gomes (2002) também obteve valores elevados de Mg, Ca e Na nos solos de um manguezal de Ilhéus na Bahia, onde o Mg também chegava a superar o valor dos outros dois nutrientes, Na e Ca. E atribuiu essa característica a um reflexo da composição química da água mar onde o Mg é quase três vezes superior ao Ca. Firme (2003) também encontrou valores de Mg maiores que Na, Ca e K e relacionou os valores dos cátions Mg, K e Ca com a mineralogia de formações geológicas. Em São João de Pirabas uma das principais formações geológicas é a Formação Pirabas constituída de sedimentos carbonáticos fossilíferos que pode prover esses cátions para os manguezais da região de Itarana.

Devido à diferença em proporção dos cátions trocáveis em relação ao Al nas duas áreas, a saturação por Al é maior na zona de transição. O período de estiagem apresenta maior



saturação por alumínio já que a concentração de Al nesse período é superior a do período chuvoso.

A saturação por alumínio (valor m) é a percentagem de alumínio em relação às bases trocáveis e traz informações sobre a probabilidade de ocorrência de toxidez de alumínio para as plantas. Para a fertilidade do solo, de modo geral, a saturação com alumínio não deve ser superior a 15%, porém admite-se saturação por alumínio como baixa quando menor que 10%, média de 11% a 29%, alta de 30% a 50% e muito alta quando acima de 50% (MENDONÇA, 2006). Assim, os solos do manguezal (m=10,64) e da zona transicional (15,41) apresentam saturação por alumínio média e durante o período chuvoso (m=8,77) a saturação por alumínio é baixa enquanto que no período de estiagem (m=17,28) é média.

Os valores baixos de N dos solos analisados são devido às perdas de nitrogênio pela redução do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a  $\text{N}_2$  gasoso. Esse é o mesmo processo envolvido na redução do Fe, porém nesse caso (pela sequência termodinâmica supracitada) o nitrato é o primeiro a sofrer redução em condições anóxicas. Esse processo é denominado desnitrificação e representa a principal forma de perdas de nitrogênio (MALAVOLTA, 2006; REIS, 2013; SOUZA; VAHL; OTERO, 2009). No período chuvoso a perda de nitrogênio é maior que na estiagem devido os poros do solo estarem mais preenchidos com água.

Os manguezais geralmente são limitados principalmente por N e P, apesar da alta produtividade. A principal estratégia para compensar a perda de N pela desnitrificação é a fixação de N atmosférico por bactérias, estando elas associadas ou não as árvores (VOVIDES et al., 2011). Segundo Reis (2013) a FBN (Fixação Biológica de Nitrogênio) é a segunda maior atividade bacteriana do manguezal ficando atrás apenas da decomposição anaeróbica.

Embora os manguezais apresentem limitação por N experimentos com enriquecimento ou fertilização com N comprovam que o aumento da disponibilidade de N em manguezais cria uma instabilidade que reduz a resiliência do manguezal a situações extremas como secas e hipersalinidade causando a mortandade das árvores de mangue (LOVELOCK et al., 2009). Então, valores baixos de N, como os desse estudo, nem sempre indicam que esse ecossistema está carente de N ou que esse estado de baixa concentração seja prejudicial ao manguezal.

Os valores de N encontrados repercutem nos valores da relação C/N. De acordo com Silveira e Freitas (2007) uma relação C/N maior que 30 leva à imobilização de N; entre 20 e 30 a mineralização é igual à imobilização e com C/N menor que 20 predomina a mineralização. Portanto, está havendo no período chuvoso imobilização (incorporação pelos

microrganismos) do nitrogênio e não a mineralização. Dessa forma no manguezal de franja (C/N=19,05) prevalece a mineralização e na zona de transição (C/N=38,49) prevalece a imobilização. No período chuvoso prevalece a imobilização (C/N= 34,68) e no período de estiagem (C/N=22,86) as taxas de mineralização são iguais as taxas de imobilização.

O C, S e P elementos constituintes da matéria orgânica não variam entre os períodos de coleta, mas variam entre os sítios estudados. De fato, P apresenta maior concentração no manguezal de franja, isso se deve porque ao contrário do que ocorre em ambientes mais aeróbicos como a zona de transição, onde o P (fosfato -  $\text{PO}_4^{3-}$ ) é rapidamente adsorvido em argilas e precipita com cálcio, magnésio e principalmente com ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ ), em ambientes anaeróbicos a disponibilidade de P é bem maior devido a redução do íon Fe-férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) para o íon Fe-ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) aumentando a disponibilidade de P porque  $\text{Fe}^{2+}$  é menos efetivo na adsorção de P do que  $\text{Fe}^{3+}$  (BALL, 1996; MENDOZA, 2007; VOVIDES; PORTILLO; BASHAN, 2011).

O suprimento de S na forma de  $\text{SO}_4^-$  dissolvido na água do mar fornecido diariamente pelas marés ao bosque de franja pode ser o motivo da diferença da concentração de enxofre das duas áreas estudadas. Essa relação pode ser reforçada pela salinidade que teve maior valor no bosque de franja e diferenças na profundidade com maiores valores nas camadas inferiores (40-60cm). O S também apresentou esse comportamento com maior concentração no bosque de franja e maiores valores nas camadas de maior profundidade. Mendoza (2007) também encontrou relação entre o S e a salinidade no manguezal de Bragança no litoral do Pará.

De um modo geral, pela análise de componentes principais observa-se que os maiores valores dos nutrientes no bosque de franja e os maiores valores de Eh na zona de transição são os responsáveis pela maior separação dos escores em valores positivos e negativos para a PC1, que explica 51,3% da variância. Assim, percebe-se a relevância da variável “potencial de oxirredução” na diferenciação das áreas estudadas em termos de concentração e disponibilidade de nutrientes, variável essa influenciada pela frequência de inundação pelas marés e pela granulometria do solo.

Os nutrientes analisados nas folhas de *Rhizophora mangle* não seguiram o mesmo padrão de variação dos nutrientes do solo em relação às áreas estudadas. Apenas os nutrientes Mn, Na e N apresentaram maiores médias no manguezal de franja, enquanto que os nutrientes Mg, S e C tiveram maiores concentrações nas folhas de *Rhizophora mangle* da zona de transição.

A vegetação de mangue possui mecanismos fisiológicos de controle para a seleção de nutrientes através de suas raízes e que podem ser a razão pela qual a vegetação não

acompanha o padrão da concentração de nutrientes do solo. Bernini et al. (2006) não encontraram relação dos nutrientes do solo com os nutrientes foliares no manguezal do rio São Mateus no Espírito Santo, onde os nutrientes das folhas apresentaram diferenças entre os bosques.

Estudos demonstraram essa falta de correlação entre os nutrientes do solo e das folhas das espécies de mangue, como de Bernini e Rezende (2010) no Rio Paraíba do Sul, Ahmed et al. (2010) no manguezal de Sundarbans em Bangladesh com folhas de *Sonneratia apetala* e Sadiq e Zaidi (1994) em um manguezal da Baía de Tarut e ilha de Gurmah, no golfo arábico na costa Saudita. Nesse último apenas o Mn apresentou correlação significativa entre os nutrientes das folhas e do solo.

Um dos mecanismos fisiológicos de seleção de nutrientes é a exclusão de sais. De acordo com Cuzzuol e Campos (2001) esse complexo mecanismo de tolerância aos elevados teores de sais presente em *Rhizophora mangle* envolve o controle de potenciais iônicos através de membranas, regulações osmóticas, atividade enzimática e síntese de proteínas.

Essa capacidade de exclusão de sais que essa espécie possui é o que mantém uma faixa de concentração de Ca e K semelhante para as duas áreas. Todavia, verifica-se que os nutrientes Na e Mg apresentaram diferenças entre as áreas. A maior concentração de Na no bosque de franja devido ao contato mais frequente com a água salina pode estar interferindo na absorção de Mg.

*Rhizophora mangle* dentre as espécies de mangue é classificada como sal-excludente e com isso evitaria a entrada em excesso de metais como o Fe, Zn e Cu, e portanto, apresentando os menores valores desses nutrientes, mas não possui mecanismo de retenção de Mn (BERNINI; REZENDE, 2010; BERNINI et al, 2006). Portanto, além de controlar a entrada de sais esse mecanismo controla também a entrada de micronutrientes, excetuando-se o Mn. Por essa razão o Mn é o micronutriente de maior concentração nas folhas de *Rhizophora mangle* e o único que apresentou diferenças significativas entre as duas áreas.

A seletividade de absorção de nutrientes das árvores de mangue se dá principalmente na região da rizosfera. As raízes conseguem oxidar a rizosfera à custa do O<sub>2</sub> atmosférico transportado das folhas para as raízes via aerênquima ou espaços intercelulares. As espécies do gênero *Rhizophora* contêm este tecido que é uma adaptação a solos reduzidos. A rizosfera oxidada consegue a eliminação ou diminuição de substâncias que podem ser tóxicas, como o H<sub>2</sub>S e Fe<sup>2+</sup> (ANDRADE, 2011; MALAVOLTA, 2006; SOUSA; VAHL; OTERO, 2009).

Cheng et al. (2012) em um experimento submeteram espécies da família Rhizophoraceae (*Bruguiera gymnorrhiza*, *Kandelia obovata* e *Rhizophora stylosa*) a

diferentes concentrações de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , e  $\text{S}^{2-}$  e verificaram que estas espécies possuíam as mais grossas exodermes lignificadas e conseguiram criar uma barreira a perda do oxigênio das raízes e controlar a entrada desses elementos tóxicos.

O fator de concentração é um indicador de o quanto de um metal do solo foi transferido ou absorvido pela vegetação e geralmente é usado para avaliar se houve a absorção de metais traço pelas árvores de mangue. Em São João de Pirabas por ser uma área livre de impactos antrópicos de contaminação não apresenta grandes concentrações de metais traço. O fator de concentração dos metais do bosque de franja mostra a seletividade exercida impedindo grandes transferências de metais, o Mn sendo a única exceção pelas razões já mencionadas.

Outra explicação para essa maior concentração de Mn nas folhas de mangue vermelho fornecida por Lacerda (1997) é que há sugestões de que o sulfeto é responsável pela baixa disponibilidade desses metais traço, como Fe, Cu e Zn, por que estes sofrem precipitação com esse íon, exceto Mn que não é capaz de formar uma forma estável com sulfeto tornando-se mais solúvel em condições redutoras. O que ajuda também a explicar o maior fator de concentração de Mn no bosque de franja.

No bosque de *Rhizophora mangle* da zona de transição os valores do FC é bem superior aos valores dos bosques de franja de São João de Pirabas e dos outros estudos comparados na Tabela 15. Nesse caso o que ocorre é que a concentração das folhas é muito superior à concentração do solo já que esse é um solo livre de contaminação e menos rico em nutrientes se comparado aos outros. Assim, o mangue vermelho apresenta algum mecanismo de conservação desses micronutrientes em valores dentro de uma faixa favorável ao seu desenvolvimento.

Quanto ao N o bosque de franja apresentou maior concentração quando comparado à zona de transição, porém, apesar da baixa concentração de N no solo, as folhas de *Rhizophora mangle* possuem uma concentração de N elevada. Isso reflete a grande eficiência dos manguezais na conservação de N dentro de um ecossistema com grandes perdas desse nutriente.

De acordo com Twiley e Day JR (1999), os principais processos envolvidos na conservação dos nutrientes nos manguezais para reduzir as perdas são a reabsorção ou a retranslocação de nutrientes antes da queda das folhas senescentes e a imobilização de nutrientes na serapilheira em decomposição. Segundo esses autores, o dossel formado por

*Rhizophora mangle* em manguezais de franja podem formar um sítio de conservação de N e junto com a longevidade das folhas podem influenciar toda a demanda por N do manguezal.

Mas há que se saber se esse ecossistema é ou não limitado por N. A razão N/P é um indicador utilizado para avaliar estado de limitação nutricional pela proporção de N e P em folhas maduras. Quando o valor de N/P foliar é inferior a 14, o resultado tem sido interpretado como uma maior limitação por N, quando superior a 16 interpreta-se como maior limitação por P e quando dentro da faixa 14 – 16 interpreta-se como colimitação de N e P (REIS, 2013).

Nesse estudo o bosque de franja é colimitado por N e P (N/P=14,85) e a zona de transição é limitada por N (N/P=13,3). O período de chuvas é limitado por N (N/P=13,17) e o de estiagem colimitado por N e P (N/P=14,98).

Analisando a variação temporal dos nutrientes nas folhas de *Rhizophora mangle* (período de chuvas e de estiagem) percebe-se que os nutrientes nesse caso seguiram o comportamento do solo, excetuando-se Zn, S e C. A maior insolação no período de estiagem aumenta as taxas fotossintéticas aumentando a fixação de C (MILLER et al., 2004).

Através da análise de componentes principais verifica-se que a PC1 que explica 37,44% da variância dos dados responde pela diferença temporal, ou seja, período de coleta e que a PC2 que melhor separa os dados em relação à diferença espacial responde apenas por 24,11% da variância dos dados. Assim, a absorção de nutrientes pelo mangue vermelho nessa região da Amazônia demonstra variar mais em relação ao período sazonal e em menor grau em relação a área manguezal, sob maior ou menor influência do mar.

Dos nutrientes das folhas da serapilheira apenas o Mn apresentou diferença entre as áreas estudadas. Essa característica reflete o processo de retranslocação de nutrientes nas folhas antes da queda para conservação dos nutrientes. O mesmo princípio vale para o período chuvoso, observando que os nutrientes que podem vir a se tornar tóxicos ou que se apresentam em excesso nas folhas (como o Cu, Mn, Na) são eliminados naturalmente durante a estiagem, período mais estressante.

Através da ACP é possível perceber que a PC1 é a que melhor separa os dados de nutrientes em folhas de serapilheira com relação ao período coletado e responde sozinha por 40,5% da variância dos dados, logo, o período sazonal é o principal fator de variância dos dados de serapilheira. O fator região do manguezal não exerceu efeito sobre os nutrientes da serapilheira.

As médias encontradas para a serapilheira no manguezal de São João de Pirabas estão abaixo dos valores reportados por Scheer, Gatti e Wisniewski (2011) para as folhas da serapilheira de espécies de floresta aluvial tropical do sul do Brasil, porém são maiores que os valores encontrados por Hoq et al. (2002) na serapilheira do manguezal de Sundarbans em Bangladesh. Neste manguezal de Bangladesh também foram observadas diferenças sazonais para o Cu e Na e diferente desse estudo encontraram diferenças para Zn e N e não encontraram diferença para Mn, Ca e K.

## 8. CONCLUSÃO

Os atributos químicos do solo e a composição química das folhas de *Rhizophora mangle* estão sujeitos a variações em relação a sua localização (próximo ao canal de maré – manguezal de franja; mais distante do canal de maré – zona transicional) e em relação ao período sazonal (período de mais chuvas e período de estiagem).

O potencial de oxirredução é o principal fator controlador da disponibilidade de nutrientes no solo desse manguezal, influenciado principalmente pela inundação das marés. Outras, propriedades como o pH e a salinidade tem influencia secundária e no caso do pH pode estar correlacionado ao Eh do solo.

A mudança na estrutura da vegetação do manguezal da zona de transição formando um gradiente de altura aparenta ser uma resposta a mudança da granulometria do solo que gradualmente diminuindo o percentual de argila e aumentando o percentual de areia. Assim como também uma resposta à mudança gradual de salinidade, Eh e pH.

A absorção de nutrientes pelo mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) ocorre de forma seletiva nem sempre seguindo o padrão de concentração do solo. Os nutrientes das folhas de mangue vermelho apresentam maior variação com relação ao período sazonal do que em relação á área do manguezal em que se localizam.

Apesar da baixa concentração de Nitrogênio no solo as árvores de mangue vermelho conseguem manter concentrações elevadas desse nutriente usando a retranslocação como estratégia de conservação desse nutriente.

As folhas da serapilheira apresentam variação com relação ao período sazonal e não apresentam ter relação com a região do manguezal. Os nutrientes que podem ser tóxicos e/ou estão em excesso são liberados nas folhas da serapilheira principalmente durante a estiagem.

Os resultados aqui encontrados demonstram a necessidade de observação às características físico-químicas dos solos de manguezais quando da busca de estratégias de conservação desses ecossistemas ou de recuperação de manguezais degradados. Alterações nas propriedades físico-químicas do solo, principalmente o Eh, podem alterar sobremaneira a disponibilidade de nutrientes para a vegetação principalmente em áreas de estresse como as zonas de transição, onde qualquer alteração nessas propriedades pode ter uma resposta negativa da vegetação de difícil recuperação.

Em um cenário de mudanças climáticas com alteração do padrão de distribuição das precipitações na Amazônia é recomendado que se busquem estratégias de enfrentamento as consequências da alteração do clima visando a conservação dos manguezais. O estudo do

efeito da sazonalidade demonstra o papel do período menos chuvoso influenciando nos processos fisiológicos e estratégias desenvolvidas pela vegetação de mangue para conservação de nutrientes ou eliminação do excesso de nutrientes tóxicos pela serapilheira.



## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 645-736.
- ADRIÃO, D. Pescadores de sonhos: um olhar sobre as mudanças nas relações de trabalho e na organização social entre as famílias dos pescadores diante do veraneio e do turismo balnear em Salinópolis, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências Humanas, v. 1, n. 2, p. 11-21, 2006.
- AHMED, A. et al. Chemical composition of leaves of a mangrove tree (*Sonneratia apetala* Buch.-Ham.) and their correlation with some soil variables. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 39, n. 1, p. 61-69, 2010.
- ALMEIDA, S. S. de. Estrutura e florística em áreas de manguezais paraenses: evidências da influência do estuário amazônico. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra, n. 8, p. 93-100, 1996a.
- ALMEIDA, S. S. de. Identificação, avaliação de impactos ambientais e uso da flora em manguezais paraenses. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra, n. 8, p. 31-46, 1996b.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012.
- AMARAL, D. D. do et al. Restingas do litoral amazônico, estados do Pará e Amapá, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências Naturais, v.3, n.1, p. 35-67, 2008.
- ANANIAS, D. dos S. et al. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 218-226, 2010.
- ANDRADE, C. L. N. de. **Biogeoquímica do ambiente estuarino do rio Passa Vaca em área urbana de Salvador, BA**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: petróleo e meio ambiente) – Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador, 2011.
- ANDREOLI, R. V. et al. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns. **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 1193-1205, 2012.
- BALL, M. C. Comparative ecophysiology of tropical lowland moist rainforest and mangrove forest and tropical lowland moist rainforest. In: MULKEY, S. S.; CHAZDON, R. L.; SMITH, A. P. (Eds.). **Tropical forest plant ecophysiology**. New York: Chapman and Hall, 1996. p. 461-496.

BASTOS, M. de N. do C. A importância das formações vegetais da restinga e do manguezal para as comunidades pesqueiras. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Antropologia, n.11, p. 41-56, 1995.

BERRÊDO, J. F.; COSTA, M. L.; PROGNE, M. P. S. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 3, p. 473-482, 2008.

BERRÊDO, J. F. et al. Mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais da costa amazônica: o exemplo do estuário do rio Marapanim (Pará). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 24-35, 2008.

BERNINI, E. **Estrutura da cobertura vegetal e produção de serapilheira da floresta de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro, Brasil**. 2008. 134 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

BERNINI, E. et al. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do Rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 4, p. 689-699, 2006.

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

BOAVENTURA, S. F.; HADLICH, G. M.; CELINO, J. J. Índices de contaminação de metais traço em encostas, manguezais e apicuns, Madre de Deus, Bahia. **Geociências**, v. 30, n. 4, p. 631-639, 2011.

BOULHOSA, M. B. M. et al. Mapeamento das unidades de paisagem da Ilha de Itarana NE do Pará, através de imagens SPOT de alta resolução. In: SIMPÓSIO DA SOCIEDADE DE ESPECIALISTAS LATINO-AMERICANOS EM SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2012, Caiena. **Anais...** Caiena: SELPER, 2012.

BRANCALION, P. H. S. et al. Estratégias para auxiliar na conservação de florestas tropicais secundárias inseridas em paisagens alteradas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências Naturais, v. 7, n. 3, p. 219-234, 2012.

BRASIL. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 10 dez. 2014.

\_\_\_\_\_. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 10 dez. 2014.

\_\_\_\_\_. Medida Provisória n. 2166-67 de 24 de agosto de 2001. Disponível em: <[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)>. Acesso em: 10 dez. 2014>.

CHENG, H. et al. Interactions among  $Fe^{2+}$ ,  $S^{2-}$ , and  $Zn^{2+}$  tolerance, root anatomy, and radial oxygen loss in mangrove plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 7, p. 2619-2630, 2012.

CHI, F. **Long-term changes in mangrove forests and cays following hurricanes at Turneffe Islands, Belize**. 2012. 324 f. Tese (Doutorado de Filosofia) – Faculty of graduate studies, University of British Columbia, Vancouver, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do Conama**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008. 2 ed. Brasília: CONAMA, 2008. 928 p.

CORONADO-MOLINA, C. et al. Litterfall dynamics in carbonate and deltaic mangrove ecosystems in the Gulf of Mexico. **Wetlands Ecology Manage**, v. 20, p. 123-136, 2012.

CHRISTOFOLETTI, R. A. **Ecologia trófica do caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Ocypodidae) e o fluxo de nutrientes em bosques de mangue, na região de Iguape (SP)**. 2005. 127 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2005.

CRUZ, C. C. da et al. Distribution of mangrove vegetation along inundation, phosphorus, and salinity gradients on the Bragança Peninsula in Northern Brazil. **Plant and Soil**, v. 364, p. 393-406, 2013.

CUZZUOL, G. R. F.; CAMPOS, A. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 227-234, 2001.

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

DAS, D. et al. Depth integrated microbial community and physico-chemical properties in mangrove soil of Sundarban, India. **Advances in Microbiology**, v. 2, p. 234-240, 2012.

DUARTE, C. M. et al. Relationship between sediment conditions and mangrove *Rhizophora apiculata* seedling growth and nutrient status. **Marine Ecology Progress Series**, v. 175, p. 277-283, 1998.

EL-ROBRINI, M. et al. Esrosão e progradação do litoral brasileiro/Pará. In: MUEHE, D. (org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006. 476 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997.

FAGÉRIA, N. K.; ARAÚJO, A. P.; STONE, L. F. Mudanças químicas na rizosfera. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo - Parte II: aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 161-186.

FARIAS, A. do S. C.; FERNANDES, M. E. B.; REISE, A. Comparação da produção de serapilheira de dois bosques de mangue com diferentes padrões estruturais na península Bragantina, Bragança, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra, v. 1, n. 3, p. 53-60, 2006.

FERNANDES, M. E. B.; CARVALHO, M. L.; FARIAS, A. C. Influência dos padrões estruturais na produção de serapilheira de *Avicennia germinans* na Península Bragantina, Bragança - Pará - Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 8, p. 01-08, 2010.

FERNANDES, M. E. B. (Org.). **Os manguezais da Costa Norte Brasileira**. Maranhão: Fundação Rio Bacanga, 2005. 2 v. 165 p.

FERREIRA, T. O. **Processos pedogenéticos e biogeoquímica de Fe e S em solos de manguezais**. 2006. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

FERREIRA, T. O. **Solos de mangue do rio Crumahú (Guarujá-SP): pedologia e contaminação por esgoto doméstico**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

FERRO, A. S. **Diagnóstico participativo qualitativo sobre a pesca artesanal no município de Salinópolis-PA**. 2010. 159 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

FIRME, L. P. **Caracterização físico-química de solos de mangue e avaliação de sua contaminação por esgoto doméstico via traçadores fecais**. 2003. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The world's mangroves 1980-2005: a thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005**. Roma: FAO Forestry paper 153, FAO/Forestry Department, 2007. 77 p.

FRUEHAUF, S. P. ***Rhizophora mangle* (Mangue vermelho) em áreas contaminadas de manguezal na Baixada Santista**. 2005. 223 f. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

FRY, B.; CORMIER, N. Chemical ecology of red mangroves, *Rhizophora mangle*, in the Hawaiian Islands. **Pacific Science**, v. 65, n. 2, p. 219-234, 2011.

GILMORE JR., R. G.; SNEDAKER, S. C. Mangrove forests. In: MARTIN, W. H.; BOYCE, S. G.; ECHTERNACHT, A. C. (Eds.). **Biodiversity of the southeastern United States: Lowland terrestrial communities**. v.1. John Wiley and Sons, Inc.: New York, 1993. p. 165-198.

GOMES, F. H. **Caracterização de solos de manguezais e de restinga no município de Ilhéus-BA**. 2002. 96 f. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

GONÇALVES, A. do S. da C.; FERNANDES, M. E. B.; CARVALHO, M. L. Variação anual da produção de serapilheira em bosques de mangue no Furo Grande, Bragança, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências Naturais, v. 1, n. 3, p. 35-42, 2006. .

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 528 p.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito ambiental**. São Paulo: Atlas, 2009.

GREGÓRIO, A. M. da S.; MENDES, A. C.; BUSMAN, D. V. Erosão na praia do Atalaia – Salinópolis/PA. In: MENDES, A. C.; PROST, M. T.; CASTRO, E. **Ecosistemas Amazônicos: dinâmicas, impactos e valorização dos recursos naturais**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011. p. 157-186.

HADLICH, G. M.; CELINO, J. J.; UCHA, J. M. Diferenciação físico-química entre apicuns, manguezais e encostas na Baía de Todos os Santos, Nordeste do Brasil. **Geociências**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2010.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M. Apicuns: aspectos gerais, evolução recente e mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, p. 13-20, 2009.

HOQ, M. E. et al. Decomposition and seasonal changes in nutrient constituents in mangrove litter of Sundarbans mangrove, Bangladesh. **Indian Journal of Marine Sciences**, v. 31, n. 2, p. 130-135, 2002.

KAMRUZZAMAN, M. et al. Litterfall of three subtropical mangrove species in the family Rhizophoraceae. **Journal of Oceanography**, v. 68, p. 841-850, 2012.

LACERDA, L. D. de. **Manguezais, ecossistemas-chave sob ameaça**. São Paulo: Duetto; Scientific American Brasil. 2009. v.1, p. 76-82. (Coleção Oceanos - origens, transformações e o futuro). Disponível em: <[http://www.inct-tmcocean.com.br/pdfs/Produtos/8\\_Manguezais\\_SABr.pdf](http://www.inct-tmcocean.com.br/pdfs/Produtos/8_Manguezais_SABr.pdf)>. Acesso em: 17 dez. 2013

LACERDA, L. D. de et al. Manguezais do Nordeste. **Ciência Hoje**, v. 39, n. 229, p. 24-29, 2006.

LACERDA, L. D. Trace metals in mangrove plants: why such low concentrations? In: KJERFVE, B.; LACERDA, L. D.; DIOP, E. H. S. (Eds). **Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa**. Paris: UNESCO, 1997. p. 171-178.

LIMA, T. C. M.; PAOLI, A. A. S.; GIRNOS, E. C. Morfo-anatomia foliar do gênero *Rhizophora* L. In: FERNANDES, M. E. B. (Org.). **Os manguezais da Costa Norte Brasileira**. Maranhão: Fundação Rio Bacanga, 2005. 2 v. p. 33-52.

LIN, Y. et al. Nutrient conservation strategies of a mangrove species *Rhizophora stylosa* under nutrient limitation. **Plant and Soil**, v. 326, n. 1-2, p. 469-479, 2009.

LOVELOCK, C. E. et al. Nutrient enrichment increases mortality of mangroves. **PLoS ONE**, v. 4, n. 5, p. e5600.1-e5600.2, 2009.

LUGO, A. E. Mangrove Ecosystems: Successional or Steady State? **Biotropica**, v.12, n. 2, p. 65-72, 1980.

LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. The ecology of mangroves. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 5, p. 39-64, 1974.

MAIA, L. P. et al. **Estudo das áreas de manguezais do Nordeste do Brasil**: avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Fortaleza: LABOMAR UFC, 2005.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARTINS, P. T. de A.; COUTO, E. C. G.; DELABIE, J. H. C. Fitossociologia e estrutura vegetal do Manguezal do rio Cururupe (Ilhéus, Bahia, Brasil). **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 2, p. 163-169, 2011.

MASCARENHAS, R. E. B.; GAMA, J. R. N. F. **Extensão e característica das áreas de mangue do litoral paraense**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 20p. (Embrapa Amazônia Oriental, 2).

MATOS, T. B.; BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Decomposição de folhas de *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa* do manguezal do estuário do rio Paraíba do sul, estado do rio de janeiro. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 12., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: AOCEANO, 2007. p.

MENDES, A. C. Geomorfologia e sedimentologia. In: FERNANDES, M. E. B. (Org.). **Os Manguezais da Costa Norte Brasileira**. Maranhão: Fundação Rio Bacanga, 2005. cap. 1, p. 13-32, 2 v.

MENDONÇA, J. F. B. **Solo**: substrato da vida. Brasília: EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006.

MENDOZA, U. M. N. **Dynamics of phosphorus and sulphur in a mangrove forest in Bragança, North Brazil**. 2007. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universität Bremen, Bremen, 2007.

MENEZES, M.; BERGER, U.; MEHLIG, U. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão states, north Brazil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 403-420, 2008.

MENEZES, M. P. M de e MEHLIG, U. Manguezais: As Florestas da Amazônia Costeira. **Ciência Hoje**, v. 44, n. 264, p. 34-39, 2009.

MILLER, S. D. et al. Biometric and micrometeorological measurements of tropical forest carbon balance. **Ecological Applications**, v. 14, n. 4, p. 114-126, 2004.

MINITAB INC. MINITAB Statistical software, release 14 for Windows. Pennsylvania: State College, 2003.

MUEHE, D. Brazilian coastal vulnerability to climate change. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 173-183, 2010.

MUNANDAR et al. Mangrove soil characteristics and growth of replanted *Rhizophora apiculata* BL. at various ecosystems in Indonesia. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON CLIMATE CHANGE: environment insight for climate change mitigation. 2011, Solo Indonesia. **Paper**. Solo Indonesia: EICM, 2011. p. 4-5. Disponível em: <<http://eprints.unsri.ac.id/1162/>>. Acesso em: 05 nov. 2013

OLIVEIRA, R. R. de; BRESSAN, F. A.; SILVA-FILHO, E. V. Contaminação por metais pesados no sedimento e em compartimentos bióticos de manguezais da Baía de Guanabara, RJ. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4., 1998, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: ACIESP, 1998.

OLIVEIRA, S. S. de; BRITTO, I. C.; FREITAS, H. M. de B. Composição química das folhas da *Rhizophora mangle* L. e do sedimento de manguezais não impactados e impactados por resíduos industriais. **Sitientibus**, n. 23, p. 35-44, 2000.

OLIVEIRA, S. S. de; FREITAS, H. M.; ACCIOLY, M. da C. Composição química das folhas de *Avicennia germinans* (L.) Stearn, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. e *Rhizophora mangle* L. e solo do manguezal do Rio Mucuri-BA, sob ação de resíduos industriais. **Sitientibus**, n. 15, p. 133-150, 1996.

PELLEGRINI, J. A. de C. **Caracterização da planície hipersalina (apicum) associado a um bosque de mangue em Guaratiba, baía de Sepetiba, Rio de Janeiro – RJ**. 2000. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PETRI, D. J. C. **Estrutura da floresta de mangue do estuário do rio Benevente, Anchieta, ES**. 2009. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Biologia, modalidade Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009.

PRADA-GAMERO, R. M.; VIDAL-TORRADO, P.; FERREIRA, T. O. Mineralogia e físico-química dos solos de mangue do rio Iriri no canal de Bertiooga (Santos, SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 233-243, 2004.

PROST, C. et al. Interações homem-meio ambiente na pesca artesanal do Salgado Paraense. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências Humanas, v. 1, n. 2, p. 51-65, 2005.

PROST, M. T.; MENDES, A. C. Dinâmica morfosedimentar dos manguezais amazônicos: Guiana Francesa, Amapá e Pará. In: MENDES, A. C.; PROST, M. T.; CASTRO, E. **Ecosistemas Amazônicos: dinâmicas, impactos e valorização dos recursos naturais**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011. p. 17-33

PROST, M. T.; MENDES, A. C. (Orgs.). **Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. 216 p.

PROST, M. T. R. da C.; RABELO, B. V. Variabilidade fito-espacial de manguezais paraenses: evidências da influência do estuário amazônico. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra, n. 8, p. 101-121, 1996.

QUIÑONES, E. M. **Relações água-solo no sistema ambiental do Estuário de Itanhaém (SP)**. 2000. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

REBELO-MOCHEL, F. Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. de. (Eds). **Amazônia Maranhense: diversidade e conservação**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011. 328 p.

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

REIS, C. R. G. **Dinâmica de nitrogênio em manguezal de franja e de bacia na Ilha do Cardoso, Sudeste do Brasil**. 2013. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Instituto de Biologia, Brasília, 2013.

ROSSI, M.; MATTOS, I. F. de A. Solos de mangue do estado de São Paulo: caracterização química e física. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 15, p. 101-113, 2002.

R CORE TEAM. **R. A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012.

SADIQ, M.; ZAIDI, T. H. Sediment composition and metal concentrations in mangrove leaves from the Saudi coast of the Arabian Gulf. **Science of the Total Environment**. v. 155, p. 1-8, 1994.

SATYAMURTY, P. et al. Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, p. 139-148, 2010.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Diagnóstico sobre manguezal, Marisma e Apicum do Brasil**. Relatório do projeto de avaliação e ações prioritárias para conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha, Brasil, Grupo Manguezal, Marisma e Apicum. São Paulo: Ministério do Meio Ambiente, 1999.

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

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian Coast. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 204-218, 1990.

SCHEER, M. B.; GATTI, G.; WISNIEWSKI, C. Nutrient fluxes in litterfall of a secondary successional alluvial rain forest in Southern Brazil. **Revista de Biologia Tropical**, v. 59, n. 4, p. 1869-1882, 2011.



SCHMIDT, A. J. **Ritmos de acasalamento e habitat de recrutamento de caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), e suas implicações para a gestão em manguezais de Caravelas, BA.** 2012. 208 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

SEIXAS, J. A. de; FERNANDES, M. E. B.; SILVA, E. S. Análise estrutural da vegetação arbórea dos mangues no furo grande, Bragança, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 1, n. 3, p. 61-69, 2006.

SILVA, F. de A. S. e. ASSISTAT Versão 7.7 beta. Campina Grande, DEAG-CTRN-UFCG, 2014. Disponível em: <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 19 ago. 2013

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: EMBRAPA, 2008.

SILVA, E. S.; FERNANDES, M. E. B. Relação entre gradiente vegetacional e atributos do solo nos bosques de mangue do Furo Grande, Bragança-PA. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, n. 17, p. 19-27, 2004.

SILVA, J. F. B. R. da. **Geoquímica dos sedimentos de manguezais do Nordeste do estado do Pará: o exemplo do estuário do Rio Marapanim.** 198 f. Tese (Doutorado em Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

SILVA JÚNIOR, O. G.; EL-ROBRINI, M. Morfoestratigrafia do noroeste da planície costeira de São João de Pirabas (Nordeste do Pará). **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 49, n. 1/2, p. 99-114, 2001.

SILVA, L. M.; PORTELA, B. T. T. Um estudo da precipitação, temperatura e umidade relativa do ar na costa Norte-Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, 2006 Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBMET, 2006.

SILVA, S. B. **Análise de solos.** Belém: UFRA, 2003.

SILVEIRA, Adriana Parada Dias da; FREITAS, Sueli dos Santos (eds). **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. 312 p.

SILVEIRA, M. I.; SCHAAN, D. P. A vida nos manguezais: a ocupação humana da Costa Atlântica Amazônica durante o holoceno. In: PEREIRA, E.; GUAPINDAIA, V. (Orgs). **Arqueologia Amazônica.** Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, IPHAN, SECULT, 2010. v. 1. p. 35-48

SOUZA FILHO, P. W. M.; MARTINS, E. do S. F.; COSTA, F. R. da. Using mangroves as a geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: A remote sensing data approach. **Ocean & Coastal Management**, v. 49, p. 462-475, 2006.

SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427-435, 2005.

SOUZA, H. F. et al. Alguns aspectos fitossociológicos e nutricionais do manguezal da Ilha de Pati – Bahia – Brasil. **Sítientibus**, Feira de Santana, n. 15, p. 151-165, 1996.

SOUZA, R. O.; VAHL, L. C.; OTERO, X. L. Química de solos alagados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo - Parte II**: aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 485-528

SUGIYAMA, M. A flora do manguezal. In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (Coord.) **Manguezal**: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. p. 17-21.

SUKARDJO, S. Soil in the mangrove forest of the Cimanuk delta, West Java (Indonesia). **Biotrop. Spec.**, n. 17, p. 191-201, 1982.

TENÓRIO, M. C. A contribuição da Arqueologia na compreensão do desenvolvimento do mangue. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra, n. 8, 1996.

TOMLINSON, P. B. **The botany of mangroves**. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. 413 p.

TWILLEY, R. R.; DAY JR, J. W. The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystems. In: YÁÑEZ-ARANCIBIA, A.; LARA-DOMÍNGUEZ, A. L. (Eds.). **Ecosistemas de manglar en América Tropical**. México, Costa Rica: Instituto de Ecología A. C.; UICN/ORMA, USA: NOAA/NMFS Silver Spring MD, 1999. 380 p.

UCHA, J. M.; HADLICH, G. M.; CELINO, J. J. Apicum: transição entre solos de encostas e de manguezais. **Revista E. T. C.**, p. 58-62, 2008.

VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 125-145, 2010.

VANUCCI, M. **Os manguezais e nós**: uma síntese de percepções. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Recife: [s.n.], 2005.

VIDAL-TORRADO, P. et al. Solos de mangue: características, gênese e impactos antrópicos. **Edafologia**, v. 12, n. 3, p. 199-244, 2005.

VOVIDES, A. G. et al. Nitrogen fixation in preserved, reforested, naturally regenerated and impaired mangroves as an indicator of functional restoration in mangroves in an arid region of Mexico. **Restoration Ecology**, v. 9, n. 201, p. 236-244, 2011.

VOVIDES, A. G.; PORTILLO, J. L. BASHAN, Y. N<sub>2</sub>-fixation along a gradient of long-term disturbance in tropical mangroves bordering the gulf of Mexico. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, p. 567-576, 2011.

YOKOYA, N. S. Distribuição e origem. In: SCHAEFFER-NOVELI, Y. (Coord.) **Manguezal**: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. p. 9-12.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – Comparação dos resultados de macronutrientes (solo)

Tabela 20- Comparação dos resultados de macronutrientes no solo dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo.

Bosque	Mg <sup>1</sup>	Ca <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	Na <sup>1</sup>	Al <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>	N <sup>3</sup>	C <sup>3</sup>	Local/País	Ref.
F	18,26	7,10	4,46	10,53	3,96	28,47	10,96	2,39	39,72	S. J. de Pirabas	Esse estudo
T	6,38	2,64	2,21	4,35	2,85	9,65	3,46	0,65	21,14	S. J. de Pirabas	Esse estudo
Rf	1,4	8,8	1,9	20,3	0,4	28,1	---	4,0	66,0	Riau/ Indonésia	(1)
R	13	5,2	0,9	13,8	0,2	49	---	---	82,0	Santos – SP	(2)
R	4,4	6,3	0,9	11,0	nd	---	---	---	19,0	Guarujá – SP	(3)
---	6,21	3,31	0,54	25,91	---	18,48	---	---	---	Ilha de Pati – BA	(4)
F	12,1	4,8	1,45	33,49	5,7	23	---	0,70	12,33	Cananéia – SP	(5)
B	9,6	4,1	1,12	24,24	2,0	14	---	0,49	12,22	Cananéia – SP	(5)
R	13,83	15,02	2,06	---	---	28,0	---	---	---	RioMucuri-BA	(6)
B	15,11	1,95	1,90	---	---	24,6	---	---	---	RioMucuri-BA	(6)
F	6,75	3,99	7,23	1,04	---	---	---	2,46	41,0	R. Paraíba do sul-RJ	(7)
F	4,67	2,29	0,59	---	---	---	---	---	---	Rio São Mateus-ES	(8)
R	6,97	4,19	0,96	---	---	14,5	---	---	---	RioMucuri-BA	(9)
B	7,57	4,54	1,09	---	---	15,3	---	---	---	RioMucuri-BA	(9)
A	11,06	0,01	2,75	80,05	0,60	3,95	---	0,58	6,80	Baía de todos os santos-BA	(10)
---	7,52	23,43	5,47	105,68	---	---	---	2,7	40,3	Java/ Indonésia	(11)

Legenda: <sup>1</sup> = cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; <sup>2</sup> = mg kg<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> = g kg<sup>-1</sup>; F = Franja; R = Ribeirinho; B = Bacia; T = Transição; Rf = Reflorestado; A = Apicum;

Fonte: (1) = Munandar et al (2011); (2) = Prada-Gamero, Vidal-Torrado e Ferreira (2004); (3) = Ferreira (2006); (4) = Souza et al. (1996); (5) = Reis (2013); (6) = Cuzzuol e Campos (2001); (7) = Bernini e Rezende (2010); (8) = Bernini et al. (2006); (9) = Cuzzuol e Rocha (2012); (10) = Hadlich, Celino e Ucha (2010); (11) = Sukardjo (1982).

## APÊNDICE B – Comparação dos resultados de micronutrientes (solo)

Tabela 21 - Comparação dos resultados de micronutrientes no solo dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo.

Bosque	Cu <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>	Mn <sup>1</sup>	Fe <sup>1</sup>	Local/País	Ref.
F	0,61	6,13	51,16	2730,0	S. J. de Pirabas	Esse estudo
T	0,27	1,60	17,54	1100,0	S. J. de Pirabas	Esse estudo
---	2,12	3,96	10,24	254,29	Ilha de Pati – BA	(1)
---	1,2	9,6	78,6	2586,9	RioMucuri-BA	(2)
---	0,8	2,7	1,3	541,3	Camaçari-BA	(3)
R	1,0	8,5	21,4	2445,5	RioMucuri-BA	(4)
B	1,0	8,2	57,4	2246,8	RioMucuri-BA	(4)
F	1,3	5,2	23,4	1010,8	Rio São Mateus-ES	(5)
---	1,8	7,3	28,6	1593,0	Golfo Arábico/Arábia Saudita	(6)
R	1,5	9,42	73,0	2109,0	RioMucuri-BA	(7)
B	1,4	10,56	61,0	1931,0	RioMucuri-BA	(7)
A	3,74	9,24	13,17	3600	Madre de Deus - BA	(8)
R	Nd	5,89	16,6	13400	Salvador - BA	(9)

Legenda: <sup>1</sup> = mg kg<sup>-1</sup>; F = Franja; R = Ribeirinho; B = Bacia; T = Transição; Rf = Reflorestado; A = Apicum; Fonte: (1) = Souza et al. (1996); (2) = Oliveira e Freitas e Accioly (1996); (3) = Oliveira, Britto e Freitas (2000); (4) = Cuzzuol e Campos (2001); (5) = Bernini et al. (2006); (6) = Sadiq e Zaidi (1994); (7) = Cuzzuol e Rocha (2012); (8) = Boaventura e Hadlich e Celino (2011); (9) = Andrade (2011).

**APÊNDICE C – Comparação dos resultados de macronutrientes (*Rhizophora mangle*)**

Tabela 22 - Comparação dos resultados de macronutrientes nas folhas de *Rhizophora mangle* dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo.

(continua)

<b>Bosque</b>	<b>Espécie</b>	<b>Mg<sup>1</sup></b>	<b>Ca<sup>1</sup></b>	<b>K<sup>1</sup></b>	<b>Na<sup>1</sup></b>	<b>P<sup>1</sup></b>	<b>S<sup>1</sup></b>	<b>N<sup>1</sup></b>	<b>C<sup>1</sup></b>	<b>Local/País</b>	<b>Ref.</b>
F	Rm	2,74	8,0	6,94	14,3	0,9	3,06	13,34	435,4	S. J. de Pirabas	Esse est.
T	Rm	4,06	8,89	7,66	10,6	0,8	7,20	11,24	468,2	S. J. de Pirabas	Esse est.
R	Rm	6,0	3,8	0,6	6,8	---	---	---	---	Salvador - BA	(1)
R	Lr	5,4	2,6	1,8	12,8	---	---	---	---	Salvador - BA	(1)
Rf	Sa	3,9	17,1	2718,0	10,7	2,8	8,1	22,5	454,1	Sunderban/ Bangladesh	(2)
Rf	Rm	4,11	6,12	7,04	17,26	1,2		16,8	472,03	Hawaii/ EUA	(3)
R,B	Rm	0,59	1,65	9,0	---	1,1	2,1	14,8	---	RioMucuri- BA	(4)
R, B	Lr	0,48	1,84	9,9	---	1,6	2,3	14,4	---	RioMucuri- BA	(4)
R,B	Ag	0,73	0,68	12,0	---	1,3	2,2	20,0	---	RioMucuri- BA	(4)
---	Am	4,31	2,24	6,84	18,39	0,76	---	---	---	Golfo Arábico/ Arábia Saudita	(5)
F	As	13,08	3,9	12,78	---	1,5	3,62	19,04	---	Rio São Mateus-ES	(6)
F	Lr	4,34	9,19	6,5	---	1,36	2,26	13,72	---	Rio São Mateus-ES	(6)
F	Rm	4,28	10,36	12,0	---	0,94	2,32	13,16	---	Rio São Mateus-ES	(6)
F	Ag	4,78	1,27	6,99	7,60	---	---	18,9	432	R. Paraíba do sul-RJ	(7)
F	Lr	1,8	3,0	4,36	9,14	---	---	14,3	421	R. Paraíba do sul-RJ	(7)
F	Rm	1,98	5,54	4,48	5,81	---	---	12,3	438	R. Paraíba do sul-RJ	(7)
F,B	As	---	---	---	---	1,71	---	13,78	418,9	Cananéia - SP	(8)

Tabela 22 - Comparação dos resultados de macronutrientes nas folhas de *Rhizophora mangle* dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo.

(conclusão)

Bosque	Espécie	Mg <sup>1</sup>	Ca <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	Na <sup>1</sup>	P <sup>1</sup>	S <sup>1</sup>	N <sup>1</sup>	C <sup>1</sup>	Local/País	Ref.
F,B	Lr	---	---	---	---	1,20	---	16,31	413,3	Cananéia - SP	(8)
F,B	Rm	---	---	---	---	1,05	---	15,33	420,5	Cananéia - SP	(8)
---	Ra	---	---	---	---	0,75	---	10,5	411,6	Filipinas e Tailândia	(9)

Legenda: <sup>1</sup> = g kg<sup>-1</sup>; F = Franja; R = Ribeirinho; B = Bacia; T = Transição; Rf = Reflorestado; Rm = *Rhizophora mangle*; Ra = *Rhizophora apiculata*; Ag = *Avicennia germinans*; As = *Avicennia schaueriana*; Am = *Avicennia marina*; Lg = *Laguncularia racemosa*; As = *Sonneratia apetala*;

Fonte: (1) = Andrade (2011); (2) = Ahmed et al. (2010); (3) = Fry e Cormier (2011); (4) = Cuzzuol e Rocha (2012); (5) = Sadiq e Zaidi (1994); (6) = Bernini et al. (2006); (7) = Bernini e Rezende. (2010); (8) = Reis (2013); (9) = Duarte et al. (1998).



## APÊNDICE D – Comparação dos resultados de micronutrientes (*Rhizophora mangle*)

Tabela 23 - Comparação dos resultados de micronutrientes nas folhas de *Rhizophora mangle* dos bosques de franja e de transição desse estudo com os resultados de estudos realizados em outros manguezais do Brasil e do mundo.

Bosque	Espécie	Cu <sup>1</sup>	Zn <sup>1</sup>	Mn <sup>1</sup>	Fe <sup>1</sup>	Local/País	Ref.
F	Rm	1,09	1,37	246,76	85,72	S. J. de Pirabas	Esse estudo
T	Rm	1,08	1,93	136,78	56,04	S. J. de Pirabas	Esse estudo
R	Rm	2,4	4,6	219,9	173,3	Salvador - BA	(1)
R	Lg	26,0	21,8	71,4	703,1	Salvador - BA	(1)
Rf	Sa	10,21	23,62	1074,6	363,5	Sunderban/ Bangladesh	(2)
Rf	Rm	6,48	6,01	283,15	120,18	Urban O'ahu/ Hawaii- EUA	(3)
R,B	Rm	0,14	6,5	594,0	56,0	RioMucuri- BA	(4)
R,B	Lr	1,71	20,7	95,0	1557,0	RioMucuri- BA	(4)
R,B	Ag	1,06	20,7	201,0	180,0	RioMucuri- BA	(4)
---	Am	1,83	7,28	28,64	1593	Golfo Arábico/ Arábia Saudita	(5)
F	As	1,9	10,46	100,54	147,99	Rio São Mateus-ES	(6)
F	Lr	1,9	9,8	58,23	301,0	Rio São Mateus-ES	(6)
F	Rm	1,27	3,9	182,94	94,38	Rio São Mateus-ES	(6)
---	Rm	4,43	8,71	78,36	117,64	Ilha de Pati - BA	(7)
---	Lg	5,36	16,50	24,79	120,79	Ilha de Pati - BA	(7)
---	As	6,93	20,57	123,21	183,43	Ilha de Pati - BA	(7)

Legenda: <sup>1</sup> = mg kg<sup>-1</sup>; F = Franja; R = Ribeirinho; B = Bacia; T = Transição; Rf = Reflorestado; Rm = *Rhizophora mangle*; Ag = *Avicennia germinans*; As = *Avicennia schaueriana*; Am = *Avicennia marina*; Lg = *Laguncularia racemosa*; As = *Sonneratia apetala*; (1) .

Fonte: (1) Andrade (2011); (2) = Ahmed et al. (2010); (3) = Fry e Cormier (2011); (4) = Cuzzuol e Rocha (2012); (5) = Sadiq e Zaid (1994); (6) = Bernini et al. (2006); (7) = Souza et al. (1996).