



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMPRESA AMAZÔNIA ORIENTAL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

MARINA LOPES DE SOUZA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E INTERAÇÃO COM FOLHAS DE
SERAPILHEIRA EM MANGUEZAIS DA ILHA DE ITARANA E
COMUNIDADE CARANÃ, SÃO JOÃO DE PIRABAS, PARÁ, BRASIL.**

**BELÉM-PA
2013**

MARINA LOPES DE SOUZA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E INTERAÇÃO COM FOLHAS DE
SERAPILHEIRA EM MANGUEZAIS DA ILHA DE ITARANA E
COMUNIDADE CARANÁ, SÃO JOÃO DE PIRABAS, PARÁ, BRASIL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em parceria com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ecossistemas e uso da terra.

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo.

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Aurora Santos da Mota.

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Souza, Marina Lopes de, 1982 -

Atributos químicos do solo e interação com folhas de serapilheira em manguezais da ilha de Itarana e comunidade Caranã, São João de Pirabas, Pará, Brasil / Marina Lopes de Souza. – 2015.

68 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais em convênio com a EMBRAPA Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2015.

1. Ecologia dos manguezais – Pará. 2. Solos dos manguezais. 3. Serapilheira. I. Título.

CDD 22. ed. 574.526325098115

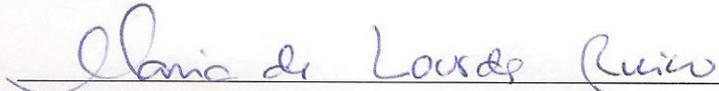
MARINA LOPES DE SOUZA

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E INTERAÇÃO COM FOLHAS DE
SERAPILHEIRA EM MANGUEZAIS DA ILHA DE ITARANA E
COMUNIDADE CARANÃ, SÃO JOÃO DE PIRABAS, PARÁ, BRASIL.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Data de Aprovação: 26 / 04 / 2013

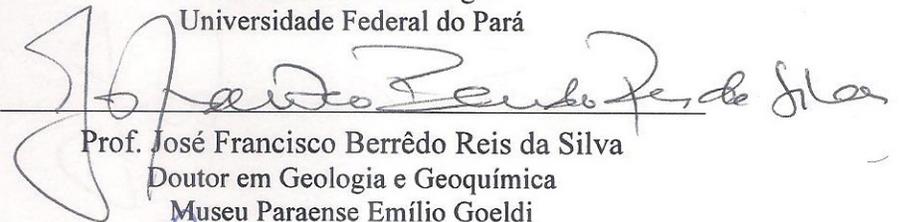
Banca Examinadora:



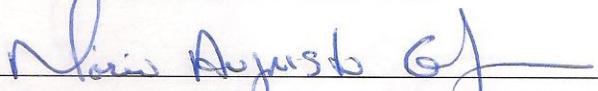
Prof. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Orientadora
Doutora em Agronomia
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Edson José Paulino da Rocha - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. José Francisco Berrêdo Reis da Silva
Doutor em Geologia e Geoquímica
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Mário Augusto Gonçalves Jardim - Membro
Doutor em Ciências Biológicas
Museu Paraense Emílio Goeldi

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

À Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo.

Ao Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva.

À Dra. Rosecélia Moreira da Silva Castro.

Ao César Augusto Reis da Fonseca Borges.

Aos pesquisadores, professores, técnicos e bolsistas da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia (CCTE), do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) que participaram deste trabalho.

Ao Laboratório de Análises de Solo e Equipe do Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Ao projeto Rede de Mudanças Climáticas e Ambientais do Pará: uma perspectiva de estudos integrados - Edital 14/2009/PRONEX /FAPESPA/ CNPq.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (Capes).

RESUMO

Os manguezais são ecossistemas costeiros situados na interface terra-mar, sob constante influência da dinâmica das marés. Sabe-se que este ecossistema é considerado um dos mais produtivos do mundo, em função da grande quantidade de matéria orgânica que é produzida e exportada para outros ambientes. Esta produtividade, por sua vez, tem sua origem tanto na serapilheira produzida dentro do próprio sistema, quanto do aporte de nutrientes advindo das marés e das águas pluviais. A dinâmica de nutrientes em manguezais está vinculada a fatores como a frequência de inundação pelas marés, o período sazonal, a topografia e os processos biogeoquímicos. Neste contexto, este trabalho se propõe avaliar os atributos químicos do solo e verificar a interação entre solo e folhas de serapilheira em manguezais no nordeste paraense, na estação chuvosa e menos chuvosa. Para tanto, foram coletadas amostras de solo e folhas de serapilheira, em períodos sazonais distintos, para análises de pH, Eh, salinidade intersticial, C, N, S, P, Fe, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³. Os resultados dos atributos químicos do solo evidenciaram que sazonalidade climática exerceu maior influência sobre os resultados de Na⁺, K⁺ e salinidade intersticial. O manguezal de intermaré apresentou teores de nutrientes do solo mais elevados quando comparado ao manguezal de supramaré. Em geral, houve uma relação na concentração de nutrientes do solo com a concentração de nutrientes das folhas de serapilheira, mais evidente nas altas concentrações de carbono, assim como nas condições de elevação do teor de alguns nutrientes em folhas de serapilheira do manguezal de supramaré durante o período chuvoso.

Palavras chave: Manguezais. Solo. Serapilheira. Sazonalidade climática.

ABSTRACT

Mangroves are coastal ecosystems situated in the land-sea interface, under constant influence of the dynamics of the tides. It is known that this ecosystem is considered one of the most productive in the world, due to the large amount of organic matter that is produced and fed into other environments. This productivity, in turn, has its origin both in litterfall produced within the system itself, the inputs of nutrients arising tidal and storm water. The nutrient dynamics in mangroves is linked to factors such as the frequency of flooding by tides, the seasonal period, the topography and biogeochemical processes. In this context, this study aims to evaluate the soil chemical properties and verify the interaction between soil and leaf litterfall in mangroves in northeast Pará, in the rainy and less rainy season. For this, samples of soil and leaf litterfall were collected in different seasonal periods, for analyses of pH, Eh, interstitial salinity, C, N, S, P, Fe, Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} and Al^{+3} . The results of soil chemical properties show that seasonality exerted greater influence on the results of Na^+ , K^+ and interstitial salinity. The intertidal mangrove presented nutrient content of higher soil when compared to the supramaré mangrove. In general, there was a relation to the concentration of the soil nutrients with the concentration of nutrients in leaf litterfall, more evident in the high carbon concentration, as well as the lifting conditions content of some nutrients in leaf litterfall of supramaré mangrove during the rainy season.

Keywords: Mangroves. Soil. Litterfall. Seasonality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização das áreas de estudo, sítios amostrais: Área 1 (A1) e Área 2 (A2)	27
Figura 2- Perfil da Área 1, manguezal de intermaré, Ilha de Itarana.	30
Figura 3- Perfil da Área 2, manguezal de supramaré.	32
Figura 4- Pluviômetro artesanal, adaptado com garrafa pet.	34
Figura 5- Pluviômetro automático basculante da torre micrometeorológica.	35
Figura 6- Precipitação pluviométrica coletada através do pluviômetro pet e basculante, nos meses de fevereiro/2012 a dezembro/2012.	44
Figura 7- Valores mensais de precipitação pluviométrica de setembro de 2010 a fevereiro de 2013, coletada pelo pluviômetro automático basculante, da torre micrometeorológica do LBA, em Cuiarana.	46
Figura 8- Gráfico de ACP (com as componentes principais 1 e 2) dos parâmetros químicos do solo, indicando a distribuição das unidades amostrais por período sazonal e área de estudo.	48
Figura 9- Gráfico de ACP (com as componentes principais 1 e 2) dos parâmetros químicos do solo, com os autovetores correspondentes.	48
Figura 10- Gráficos de ACP (com as componentes principais 1 e 2) na Área 1, com os parâmetros químicos do solo e de folhas de serapilheira, durante a época chuvosa e menos chuvosa.	57
Figura 11- Gráficos de ACP (com as componentes principais 1 e 2) na Área 2, com os parâmetros químicos do solo e de folhas de serapilheira, durante a época chuvosa e menos chuvosa.	57

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Coordenadas geográficas dos pontos de coleta e outros importantes. 36
- Tabela 2- Valores médios dos parâmetros químicos sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^+) e magnésio (Mg^{2+}) nas Áreas 1 e 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm. 50
- Tabela 3- Valores médios de carbono total (C), nitrogênio total (N), enxofre total (S), fósforo disponível (P), alumínio trocável (Al^{3+}) e ferro (Fe) nas Áreas 1 e 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm. 54
- Tabela 4- Valores médios de pH mensurado em água destilada (pH-água), pH de campo (pH-campo), potencial de redox (Eh) e Salinidade intersticial (Sal) nas Áreas 1 e 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm. 55
- Tabela 5- Valores médios de sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), carbono total (C), enxofre total (S), e ferro total (Fe) nas Áreas 1 e 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, em folhas de serapilheira e solo (0-20 cm)..... 61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	14
2.1	Geral	14
2.2	Específicos	14
3	Problema	15
4	HIPÓTESES	16
5	REFERENCIAL TEÓRICO	17
5.1	Área de ocorrência de manguezais	17
5.2	Importância dos manguezais	18
5.3	Sazonalidade climática em manguezais	19
5.4	Fluxo de matéria e energia	20
5.5	Influência das marés na dinâmica de manguezais	24
6	MATERIAL E MÉTODOS	26
6.1	Localização e caracterização da área de estudo	26
6.1.1	Sítio Amostral da Ilha de Itarana - Área 1.....	28
6.1.2	Sítio Amostral da Comunidade Caranã - Área 2.....	31
6.2	Frequência e período sazonal amostrado	33
6.3	Dados de precipitação pluviométrica	33
6.4	Procedimentos de campo	35
6.4.1	Seleção dos pontos amostrais.....	35
6.4.2	Coleta e acondicionamento das amostras de solo.....	36
6.4.3	Medidas de Salinidade da água intersticial (Sal), pH do solo em campo e Potencial Redox (Eh) do solo.....	37
6.4.4	Coleta e acondicionamento das amostras de serapilheira fina.....	37
6.5	Procedimentos de laboratório	38
6.5.1	Preparo e análise química de solo.....	38
6.5.1.1	Carbono orgânico total (C), nitrogênio total (N) e enxofre total (S).....	39
6.5.1.2	Fósforo disponível (P).....	39
6.5.1.3	Sódio (Na ⁺), Potássio (K ⁺), Cálcio (Ca ²⁺) e Magnésio (Mg ²⁺) trocáveis e Ferro Total (Fe).	40
6.5.1.4	Alumínio trocável (Al ³⁺).....	40
6.5.1.5	Potencial hidrogeniônico (pH).....	41

6.5.2	Preparo e análises químicas de folhas de serapilheira.....	41
6.6	Análise de dados	41
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
7.1	Precipitação pluviométrica	44
7.2	Atributos químicos do solo	47
7.3	Interação solo e folhas de serapilheira	56
8	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, onde ocorre o encontro de águas de rios com a água do mar em regiões costeiras abrigadas, como estuários, baías e lagunas (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Constituem ambientes bem definidos, característicos de regiões tropicais e subtropicais, localizados na interface terra-mar, com seus limites estabelecidos pelos níveis das marés (LACERDA, 2009).

Ainda hoje a definição do termo “mangue” se confunde com a definição de “manguezal”. O primeiro tem sua origem na palavra “maggimanggi” e do inglês “mangrove”, utilizado para descrever as espécies vegetais que habitam o manguezal, a árvore. Já o segundo, emprega-se na descrição das variedades de comunidades que dominam as zonas costeiras tropicais, constituídas por espécies vegetais arbóreas ou arbustivas, adaptadas a solos com elevados teores de sal, que conseguem se desenvolver em um terreno repleto de mangue, ou seja, o ecossistema (LEMOS, 2011).

Esse ecossistema apresenta características típicas, como a capacidade de plantas, animais e microorganismos se adaptarem às condições ambientais instáveis, causadas pela alta salinidade da água e pelas constantes mudanças no regime de marés (MORAES; COSTA, 2000), considerado a principal forma de penetração de águas salinas nesse ecossistema e fator determinante para a elevação do teor de salinidade das águas (FERNANDES; PERIA, 1995).

Pesquisas têm demonstrado a forte influência da sazonalidade no controle sobre fatores ambientais como a temperatura, a disponibilidade e qualidade de matéria orgânica, distribuição e intensidade das chuvas, produzindo efeito direto sobre o metabolismo e condições biogeoquímicas de solos de manguezais (ALONGI; TIRENDI; CLOUGH, 2000; KRISTENSEN et al, 2000).

As variações sazonais, também influenciam na amplitude da maré, que determina a renovação das águas superficiais e intersticiais, sendo um importante processo no desenvolvimento das espécies vegetais de manguezais, através do transporte e fixação de propágulos, assim como no transporte de matéria orgânica para as regiões próximas (FERNANDES; PERIA, 1995). Pode-se considerar que a estrutura do bosque de mangue é resultado da interação entre as características de crescimento das espécies arbóreas, sua fisiologia e as forças ambientais que atuam sobre o sistema (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1984).

Nesse sentido, estudos preliminares indicam que o padrão de distribuição das espécies vegetais do manguezal é influenciado pelas variações espaciais das condições biogeoquímicas e hidro-edáficas, indicando a existência de interações entre o meio biótico e abiótico (CRUZ, 2009).

No norte brasileiro, em função das condições ambientais favoráveis, principalmente pela ocorrência de grandes amplitudes de maré e do aporte de água doce e nutrientes, os mangues podem atingir 30 metros de altura e a profundidade do substrato lodoso chega a 15 metros (LEMOS, 2011).

Fernandes, Carvalho e Farias (2010), ressaltam a alta produtividade primária das florestas de mangue da costa norte brasileira, principalmente quanto à serapilheira, e a repercussão dessa produção na exportação e ciclagem de grande quantidade de nutrientes para outras áreas, bem como a importância da variabilidade na produção de serapilheira em função de fatores abióticos sazonais. Cabe ressaltar que a quantidade e qualidade de serapilheira são fatores importantes no processo de ciclagem de nutrientes e decomposição, propiciando um melhor entendimento da dinâmica e funcionamento dos ecossistemas florestais. Além do mais, a produção e decomposição da serapilheira também estão associadas às variáveis meteorológicas, fornecendo subsídios para explicar como um ambiente pode se comportar sob diferentes condições climáticas (SILVA et al, 2009).

Em geral, os manguezais paraenses, embora sob condições de macromarés semidiurnas, ainda se encontram bem conservados, relativamente protegidos por restingas e abrigados no interior de estuários, aumentando a permanência de condições de desenvolvimento no tempo e no espaço. Ao longo da costa paraense, observa-se que esse ecossistema é submetido à ação erosiva das ondas e correntes de maré. Em contraposição, existem locais de assoreamento de manguezais causado pelo aporte de bancos de areia transportados pelos rios e correntes marinhas em direção à margem (MENDES, 2005).

Na região nordeste do estado do Pará, na microrregião do Salgado, a exemplo da Ilha de Itarana, os manguezais se destacam como unidade ambiental dominante. Recortados por canais e córregos de marés, desenvolvem-se ao longo de baías estuarinas, sob constante influência das marés, apresentando sedimentos lamosos ricos em matéria orgânica, com intenso processo de bioturbação (ALCÂNTARA, 2002).

Por sua importância regional e global, tanto no âmbito ambiental, como no social e econômico, os manguezais estão cada vez mais sendo incorporados aos projetos, planos e programas de conservação e preservação ambiental instituídos em diversos países do mundo. Em contrapartida, ainda sofrem constantemente com os processos de degradação, como lançamento de esgotos, interrupção do fluxo de marés, desmatamentos, aterramento para habitação, construção civil e estradas.

Importante ressaltar que o presente estudo procede do projeto Rede de Mudanças Climáticas e Ambientais do Pará: uma perspectiva de estudos integrados (PRONEX/FAPESPA/CNPQ, edital 14/2009), constituído por um grupo de pesquisadores, que atuam em diferentes áreas de estudo, da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, entre outras instituições de pesquisa. O objetivo deste projeto é construir uma rede integrada de pesquisas multidisciplinares, que possa atuar em parceria no desenvolvimento acadêmico, científico e tecnológico da área temática de mudanças climáticas globais e regionais, incluindo impactos, vulnerabilidades, dimensões humanas e respostas econômicas e sociais, além de gerar subsídios à formulação de políticas públicas de adaptação e mitigação às mudanças climáticas e ambientais na Amazônia, visando em particular o desenvolvimento do estado do Pará.

Dentro desse contexto, este trabalho se propõe a avaliar as modificações nos atributos químicos do solo e verificar as interações entre solo e folhas de serapilheira em manguezais do nordeste paraense, em período chuvoso e menos chuvoso.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar os atributos químicos do solo e sua interação com folhas de serapilheira em manguezais do nordeste paraense, em período chuvoso e menos chuvoso.

2.2 Específicos

Analisar os atributos químicos do solo sob variação sazonal da precipitação;

Comparar os teores de nutrientes do solo entre os sítios amostrais;

Verificar a interação entre as folhas de serapilheira e o solo, levando em consideração o teor de nutrientes contidos nestes.

3 PROBLEMA

Nos sítios amostrais em manguezais do Nordeste paraense, no período de menor e maior precipitação pluviométrica, ocorrem alterações nos atributos químicos do solo e sua interação com folhas de serapilheira?

4 HIPÓTESES

Devido à variação sazonal da precipitação, os manguezais apresentam diferenças nos atributos químicos do solo, com interação entre os nutrientes contidos nas folhas de serapilheira e os do solo, respondendo às condicionantes climáticas, o regime de marés e a topografia local.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Área de ocorrência de manguezais

Os manguezais estão presentes nas faixas tropical e subtropical do planeta, em áreas afetadas pelas inundações das marés, geralmente caracterizadas pela ocorrência de mistura de águas doces e oceânicas, como estuários, lagoas costeiras, lagunas, baías e deltas (ALVES, 2001).

Encontram-se distribuídos em quatro continentes (Ásia, Oceania, América e África) e seis regiões geográficas do planeta (Ásia, Oceania, costa oeste da América, costa leste da América, costa oeste da África, costa leste da África) sendo a Índia, península da Indochina, Austrália, Brasil, América Central e Caribe as regiões de maior ocorrência desse ecossistema (FONSECA; DRUMMOND, 2003).

No Brasil, os manguezais apresentam ampla distribuição geográfica, estendendo-se de forma mais ou menos contínua por quase toda a orla marinha (SHAEFFER-NOVELLI, 1995). O limite norte desse ecossistema está situado no litoral do estado do Amapá, onde se encontram vastas áreas de manguezais, com as maiores áreas contínuas situadas na região litorânea maranhense. O limite sul desse ecossistema localiza-se na cidade de Laguna, onde ocorrem mangues de porte muito inferiores quando comparados aos que se desenvolvem no litoral norte, que por sua vez, chegam a atingir mais de 30 metros de altura (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2005).

Assim, os manguezais brasileiros estão distribuídos em aproximadamente 25.000 Km² ao longo de uma costa continental com mais de 8.000 km, que vai do rio Oiapoque, extremo norte do país, no estado do Amapá, até Laguna, no litoral de Santa Catarina (RAMOS, 2002), formando uma faixa costeira que varia de dezenas de metros no litoral Sudeste do Brasil, com marés de amplitude inferior a 1 m, a quilômetros de largura na costa norte brasileira, onde as marés atingem uma amplitude superior a 4 m. Apesar dos manguezais ocuparem uma área costeira relativamente pequena, a interface entre o continente e o mar é um dos ambientes mais dinâmicos do mundo (LACERDA et al, 2006).

No Brasil, a região conhecida como costa norte compreende a área de manguezal do litoral amazônico, entre a foz do rio Oiapoque e a baía de São Marcos, no Estado do Maranhão, constituindo a faixa costeira onde a presença da vegetação é mais exuberante e desenvolvida (FERNANDES, 2003).

5.2 Importância dos manguezais

Os manguezais desempenham diversas funções ambientais de grande importância no contexto socioeconômico e ambiental. Correia e Sovierzoski (2005) apontam que este cenário coloca esse ecossistema entre os principais da zona costeira tropical, uma vez que são considerados importantes transformadores da matéria orgânica, promovendo a ciclagem de nutrientes, além de permitirem a manutenção do equilíbrio ecológico da cadeia alimentar de regiões costeiras. Possuem condições propícias para a alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies de fauna marinha, estuarina e até dulcícolas, que utilizam este ambiente para reprodução durante seu ciclo biológico e desenvolvimento das diferentes fases larvais.

Assim sendo, dentre as diversas funções ambientais que os manguezais exercem Menezes e Mehlig (2009) destacam a de berçário para diversas espécies marinhas, principalmente de crustáceos e peixes, que encontram nesse ambiente o refúgio para abrigar seus filhotes e depositar suas larvas nas águas calmas e mais protegidas de predadores. Constituem áreas de descanso e reprodução de aves e reduzem, com seus depósitos de sedimentos e as árvores típicas de mangue, os impactos provocados pela erosão. Representam a base da cadeia alimentar marinha, na medida em que as folhas decompostas de suas árvores são levadas pela maré para serem consumidas por pequenos animais marinhos, que, por sua vez, servem de alimento a animais e peixes maiores, os quais fazem parte da cadeia alimentar humana.

Esse ecossistema ainda possui a propriedade de reter os sedimentos carreados pelos rios, uma vez que apresentam uma hidrodinâmica baixa, sendo assim, o material particulado transportado é precipitado e passa a constituir o substrato. A sedimentação das partículas propicia a colonização da vegetação, promovendo a estabilização do sedimento lodoso pelo sistema radicular dos mangues (ALVES, 2001).

A ação depuradora desse ecossistema é promovida pela fixação e inertização de partículas contaminantes (como os metais pesados) no sedimento lodoso, assim como através da ação de filtro biológico desempenhada por bactérias aeróbias e anaeróbias, que decompõem a matéria orgânica. São ambientes de concentração de nutrientes por estarem situados em zonas estuarinas, recebendo grande quantidade de nutrientes provenientes das águas de rios e marés. Aliado a isso, a vegetação de mangue apresenta elevada produtividade, constituindo a principal fonte de carbono desse ecossistema (ALVES, op. cit.).

O papel socioeconômico desse ecossistema para as populações ribeirinhas é um ponto importante a ser considerado, quando se leva em conta o benefício que elas adquirem com a elevada produtividade de peixes e crustáceos, como fonte de subsistência e renda. Entretanto, para que haja uma forma sustentável de utilização dos recursos naturais e serviços ambientais deste importante ecossistema é necessário que a população entenda como este ambiente funciona, respeitando as suas peculiaridades e suas fragilidades (TOGNELLA, 1995).

Diante da diminuição da cobertura de mangue no mundo, cientistas estão sendo impulsionados a realizar importantes investigações sobre o tema, que têm resultado no aumento significativo no número de publicações. De acordo com o banco de dados da “Aquatic Sciences and Fisheries Abstract” (ASFA), de 1980 à 2009, o número de publicações aumentou de 90 para 245 por ano, e tratam principalmente sobre diversos aspectos da biologia e estruturas das florestas de mangue, teias alimentares, incluindo a flora e a fauna, as estruturas das comunidades, distribuição de espécies, biodiversidade e como a composição das espécies de mangue varia em resposta a gradientes de fatores físicos, como a salinidade e o tipo de solo (SAINT-PAUL; SCHNEIDER, 2010).

5.3 Sazonalidade climática em manguezais

As condições climáticas (pluviosidade, temperatura, ventos etc) e morfológicas em manguezais justificam progressivo e contínuo desenvolvimento dos sedimentos e solos desse ecossistema e suas diferenciações, que por sua vez, estão relacionadas ao regime hídrico, composição da água superficial e periodicidade de inundação. Portanto, as transformações e interações que ocorrem nesse ambiente, tanto físicas (perda de água, aeração, oxidação, estruturação), quanto químicas (perda da salinidade, dessaturação, lixiviação) e geoquímicas, são processos que acontecem simultaneamente (TURENNE, 1997).

Molion e Dallarosa (1990) apontam que a precipitação é um dos principais elementos climáticos a ser analisado na região tropical, uma vez que exerce influência sobre as características e comportamento dos outros elementos, tais como temperatura, umidade relativa, ventos, etc. No entanto, apesar da simplicidade de sua medida, a precipitação é apontada como uma das variáveis meteorológicas mais difíceis de ser mensurada, em razão de apresentar erros associados ao tipo instrumental, de exposição e até mesmo de localização.

Sob esse ponto de vista, Silva Júnior et. al (2006) concluiu, em estudo realizado em uma área de manguezal situada no nordeste do estado do Pará, com base em análises das interações dos diferentes componentes do balanço de energia desse ecossistema, que há uma grande sazonalidade nos mesmos, com forte influência das precipitações pluviométricas locais e do regime de marés, que periodicamente inundam o manguezal, refletindo no comportamento dos fluxos energéticos.

Nesse contexto, Ribeiro (2001) afirma que a precipitação pluviométrica tem repercussão na fisiologia das plantas halófitas, assim como nas propriedades físicas dos solos, expostos às precipitações ou aos escoamentos superficiais, os quais reduzem o teor de sal das águas no interior dos canais de drenagem das planícies costeiras. Assim, há uma interação dinâmica entre o dossel do manguezal e a atmosfera, por meio de processos físicos que produzem transportes de energia e massa. Logo, a precipitação pluviométrica é um dos elementos climáticos que mais contribui para o desenvolvimento desse ecossistema.

Portanto, a abundância de manguezais na costa Amazônica pode ser explicada pela regularidade na distribuição de chuvas na região e elevadas temperaturas que ocorrem durante o ano, somadas ao regime de macromarés (> 4m) semidiurnas e ao aporte de sedimentos trazidos pelos rios que atingem a linha de costa (HERZ, 1991).

Pesquisas realizadas na costa nordeste do estado do Pará sugerem que as modificações ocorridas nos sedimentos/solos e águas intersticiais, como a oxidação total ou parcial da superfície dos sedimentos, modificações na mineralogia e nas características químicas e físico-químicas das águas intersticiais, são resultado da curta, porém marcante sazonalidade da região, da distribuição anual das chuvas, da evapotranspiração, do regime de marés e das características morfológicas e sedimentológicas dos manguezais (BERRÊDO; COSTA; PROGENE, 2008).

5.4 Fluxo de matéria e energia

Os manguezais são sistemas abertos, no que se refere ao fluxo de matéria e energia, recebendo um grande aporte de água doce, sedimentos e nutrientes do ambiente terrestre e exportando água e matéria orgânica para o mar, águas estuarinas e ambientes costeiros adjacentes. (LEMOS, 2011). Por esse motivo, são considerados exportadores de carbono orgânico para ambientes aquáticos próximos, por meio da serapilheira, matéria orgânica dissolvida ou particulada. As mais sensíveis interações solo- água-

atmosfera ocorrem nos estuários, responsáveis por grandes ciclos biogeoquímicos, sendo importantes não somente aos ecossistemas regionais, como também para o sistema climático global, motivos pelos quais são ambientes de interesse de diversos estudos (HE et al., 2010).

Ciclos biogeoquímicos em sistema estuarino englobam numerosos processos que estão interligados e são suscetíveis a um elevado número de forças externas. Compreender os fatores que controlam e o destino global do ciclo de carbono orgânico neste sistema é um desafio, já que estuários são ambientes extremamente dinâmicos física e bioquimicamente (MUKHERJEE; RAY; GHOSH, 2013).

A dinâmica de manguezais está vinculada a diversos fatores, dentre eles, destaca-se a forte influência das marés. De acordo com Alves (2001), a matéria orgânica produzida pela queda das folhas de mangue, em parte é absorvida pelo substrato do manguezal, sendo outra parcela exportada pelas correntes de maré vazante para as gamboas, acumulando uma grande quantidade de folhas e material particulado no sedimento, promovendo o aumento das áreas desse ecossistema.

Adame e Lovelock (2011) reforçam essa ideia mencionando que, frequentemente, as florestas de mangue exportam carbono e nutrientes sob a forma de serapilheira e carbono orgânico particulado para a zona costeira, sendo a precipitação um fator importante que influencia na exportação de carbono através da serapilheira. Por sua vez, esta exportação é maior em regiões de baixa precipitação anual e temperaturas médias anuais elevadas do que em locais com elevada precipitação e baixas temperaturas. Entretanto, algumas vezes esses materiais são exportados e outras vezes importados de ecossistemas adjacentes.

Assim, a serapilheira produzida pelos manguezais pode ter diversos destinos, dentre os quais se destaca: permanecer sobre o próprio solo do manguezal, sendo consumida por organismos decompositores ao mesmo tempo em que entra em processo de decomposição ou ser transportada pelas marés durante as preamares, sendo decomposta nas águas costeiras adjacentes. Os detritos provenientes das árvores de mangue são considerados por diversos autores como a mais importante fonte de energia nas águas costeiras (LEMOS, 2011).

O substrato do manguezal é rico em matéria orgânica semi decomposta, de origem animal e vegetal, entrando em processo de decomposição através da ação de bactérias anaeróbias, o que resulta na produção de ácido sulfídrico que confere o odor

característico de manguezais lodosos (SANT' ANNA; WHATELY, 1981). Este material, denominado serapilheira, foi definido por Barbosa (2006) como matéria orgânica de origem vegetal (folhas, flores, ramos, cascas, frutos e sementes) e animal (restos animais e material fecal) depositada sobre o solo, apresentando-se sob diferentes estágios de decomposição, consistindo em um mecanismo de entrada e posterior acréscimo de matéria orgânica no solo. Neste sentido, a serapilheira assume papel importante, contribuindo significativamente para o aumento da produtividade dos manguezais.

No intuito de facilitar e ampliar os estudos de liteira (serapilheira), Proctor (1983) classificou a liteira em fina e grossa, denominação que é utilizada até os dias atuais. Segundo o autor, a liteira fina é o material vegetal constituído de folhas, material reprodutivo (flores e frutos) e galhos com diâmetro inferior a 2 cm, além dos resíduos finos, que são componentes não identificáveis. A liteira grossa é constituída da deposição de material que não se enquadra nas características anteriores, ou seja, galhos com diâmetro superior a 2 cm e troncos acima do solo, representando o material com partículas maiores e mais grosseiras.

A decomposição da serapilheira envolve um conjunto complexo de processos que incluem agentes físicos, químicos e biológicos que atuam sobre uma grande variedade de substratos orgânicos que estão constantemente sendo modificados. Devido à grande diversidade de possíveis fatores e interações, a decomposição em um ambiente natural pode ser descrita apenas em termos gerais. Apesar dessa complexidade, vários processos importantes são comumente envolvidos, e tendências gerais podem ser descritas (BERG; MCCLAUGHERTY, 2008).

A evolução de manguezais está vinculada aos fluxos de matéria e energia, associados aos processos hidrodinâmicos proporcionados pelas variações das marés, estabelecendo trocas por meio da interação e interdependência entre os componentes do manguezal e ecossistemas próximos ou adjacentes, como os apicuns. Estes são ambientes planos, encontrados próximos a manguezais, em locais de topografia mais elevada, nas regiões intertropicais, com presença de solos com alta salinidade ou acidez (HADLICH; CELINO; UCHA, 2010; HADLICH; UCHA, 2009), embora estes ambientes possam variar em razão das características de cada local. Ocorrem em locais onde a maré atinge com uma frequência bem inferior (marés de sizígia) ou onde há pouca influência de água doce proveniente de rios e/ou chuvas, contribuindo para a

hipersalinidade do solo, uma vez que longos períodos de exposição ao processo de evaporação concentram os sais em superfície, impossibilitando o desenvolvimento da vegetação de mangue (LEMOS, 2011).

Na costa nordeste do estado do Pará, os sedimentos de manguezal no estuário do rio Marapanim, são constituídos por significativa fração mineral (minerais detríticos e autigênicos) e orgânica. Esta por sua vez, é resultado do acúmulo e decomposição da vegetação pioneira que coloniza os sedimentos de manguezal, por meio de raízes e restos de vegetação (como folhas, troncos e galhos), que se sucedem no terreno de mangue. As algas (principalmente diatomáceas), restos de animais, carapaças de caranguejos e pequenas ostras também constituem a fase orgânica desses sedimentos (BERRÊDO et. al., 2008).

Os fatores morfológicos e climáticos, como a pluviosidade e a temperatura, influenciam no desenvolvimento progressivo e contínuo dos sedimentos lamosos e suas diferenciações, os quais estão estreitamente relacionados com o regime hídrico, composição da água superficial, frequência de inundação, bem como a atividade biológica (BERRÊDO, 2006).

Os sedimentos de manguezais do estado do Amapá e Pará recebem contribuição clástica, através do transporte pelos rios que desembocam na zona costeira. Há também contribuição de sedimentos oriundos da plataforma continental, principalmente nas épocas de estiagem, em que a razão entre a descarga fluvial e a influência da maré atua em favor desta última, proporcionando que a água oceânica, rica em material em suspensão, alcance uma extensão maior ao longo do estuário (MENDES, 2005). De acordo com Cunha-Lignon et al.(2011), as florestas de mangue estão entre os ecossistemas mais produtivos e biologicamente importantes do mundo, em função dos bens e serviços ecossistêmicos que fornecem para a sociedade e sistemas marinhos costeiros.

Portanto, entende-se que a compreensão dos teores de nutrientes, sua distribuição nas plantas e solo, processos de ciclagem, fluxos de entrada e saída é de grande importância para o entendimento da dinâmica e estrutura dos ecossistemas (HAY; LACERDA, 1984).

5.5 Influência das marés na dinâmica de manguezais

As marés são fundamentais para a formação e desenvolvimento de manguezais, pois realizam o transporte de sedimentos, matéria orgânica, sementes de mangue (propágulos), assim como servem de via aos animais. Na costa norte do Brasil ocorre uma grande variação das marés, que quanto mais próximas da linha do Equador, maior o intervalo (amplitude) entre a maré baixa e a alta, com registros de variações de 7 metros (Maranhão), 12 metros (Pará) e 14 metros (Amapá). A condição de elevada variação também influencia na formação do bosque de mangue, que apresenta vegetação de porte mais elevado quanto maior for a variação das marés (ALVES, 2001).

As marés constituem o principal mecanismo de penetração das águas salinas em manguezais, resultando em frequentes inundações que criam um ambiente propício para a colonização de mangues, os quais apresentam mecanismos de adaptação ao alto teor de sal, excluindo outras espécies isentas de tal propriedade (LEMOS, 2011).

O limite do manguezal em direção à terra é estabelecido até onde ocorre a penetração da água salina, com a amplitude da maré determinando a renovação das águas superficiais e intersticiais. Este processo é importante para o transporte e fixação de propágulos, assim como no transporte e distribuição de matéria orgânica particulada (folhas, galhos, restos de animais) e dissolvida, para ecossistemas adjacentes. De forma geral, os teores mais elevados de sal podem ser encontrados em manguezais mais próximos do mar, enquanto que os menores podem ser observados nos bosques de mangue próximos às margens de ambientes de água doce (LEMOS, *op. cit.*, 2011).

Além do mais, as constantes inundações nos manguezais, em função da ação das marés, criam condições favoráveis ao processo de decomposição anaeróbia dos altos conteúdos de matéria orgânica presentes nos solos e sedimentos. Essas inundações também provocam alterações físico-químicas nos solos de manguezais, causando a diminuição do potencial redox, a elevação dos valores de pH, mudanças drásticas no equilíbrio de minerais e na dinâmica de elementos como o ferro e o enxofre (PONNAMPERUMA, 1972).

Assim sendo, os teores de nutrientes no sedimento de manguezais variam ao longo da zona intertidal, principalmente em razão da frequência de inundação pelas marés (LACERDA, 1986). Fatores como suprimento de água e propriedades físicas e químicas do sedimento tem relação direta com a disponibilidade de nutrientes no manguezal. Logo, as principais fontes de entrada dessas substâncias ao ecossistema são

as marés, responsáveis por trazer os nutrientes em solução na água do mar; a enchente de rios e cursos d'água da rede de drenagem, os quais depositam sobre o manguezal partículas finas com nutrientes adsorvidos; além da chuva e dos depósitos marinhos que transportam e depositam os nutrientes oriundos da atmosfera (LACERDA, 1984).

Nesse contexto, Fernandes (2003) acrescenta que o movimento da maré, a salinidade, o regime de nutrientes e as características do substrato são fatores ambientais que exercem significativa influência sobre a produtividade primária do manguezal (FERNANDES, 2003) e, conseqüentemente, sobre a dinâmica desse ecossistema.

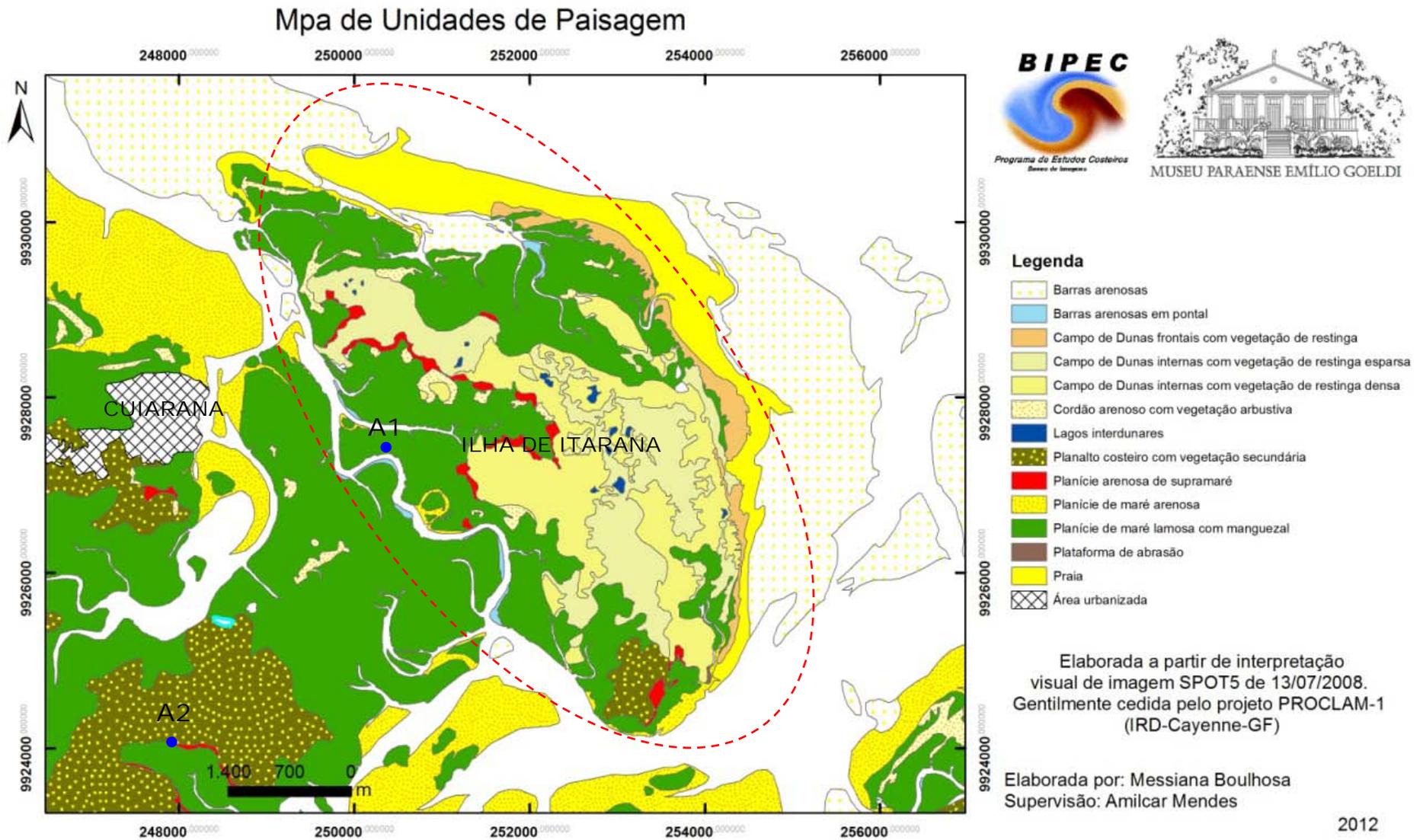
6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Localização e caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em dois perfis distintos de manguezal, situados na mesorregião nordeste paraense, microrregião do salgado, em zona costeira sob constante influência da maré - Área 1 - e sob pouca influência - Área 2 - (Figura 1). As duas áreas escolhidas para este estudo também representam, em pequena escala, as variações de unidades paisagísticas.

O clima do nordeste do Pará é tropical quente e úmido do tipo Am₂, segundo a classificação Köppen. A precipitação pluviométrica média anual varia de 2.500 a 3.000 mm e deficiência hídrica em torno de 200 a 300 mm, com período chuvoso bastante acentuado de dezembro a maio e estação menos chuvosa nos meses de junho a novembro. A variação média anual da temperatura fica na faixa de 21,1°C a 30,9 °C, com média em torno de 25,7 °C, atingindo valores mais elevados nos meses de agosto a outubro, chegando a 42°C. A variação da temperatura recebe influência direta do regime pluviométrico e da umidade relativa do ar, que varia entre 80 e 91% anualmente (MARTORANO et al., 1993).

Figura 1- Localização das áreas de estudo, sítios amostrais: Área 1 (A1) e Área 2 (A2)



Fonte: (BOULHOSA; MENDES, 2012)

6.1.1 Sítio Amostral da Ilha de Itarana - Área 1

A Área 1 (ponto inicial: 0°39'23,76" S e 47°14'35,58" WG) está localizada na Ilha de Itarana (PA), a leste da península de Cuiarana e a sudeste da península de Salinópolis, entre as baías de Inajá (a leste) e Arapepó (a oeste), se interligando através do Furo Grande (Figura 1).

A Ilha de Itarana (ponto central: 0°39'11" S e 47°13'32" WG) é um ambiente costeiro sob forte influência do regime de marés, intercalado por canais de maré, furos e córregos, com presença de manguezais com relativo grau de preservação. Quase desabitada, apresenta poucos indícios de intervenção antrópica, com destaque para uma pousada rústica, que é mais ocupada durante o veraneio, bem diferente da praia vizinha do Atalaia (Salinópolis), que, nas altas temporadas, tem sua população aumentada consideravelmente e os impactos antrópicos multiplicados.

A ilha abrange uma área com cerca de 91km² e faz parte do município de São João de Pirabas, sendo separada de Cuiarana por um sistema de grandes canais estuarinos, o maior deles, o Furo Grande. A travessia de Itarana para Cuiarana pode ser realizada em barcos de pesca, embarcações à vela e “voadeiras”, que são barcos de alumínio com motor de popa, devendo ocorrer durante a maré alta, em função do aparecimento de bancos arenosos na maré baixa.

A Área 1 é um segmento da Ilha de Itarana, caracterizada como manguezal de intermaré, devido sofrer constantes inundações, que ocorrem em função da variação das marés, como também por possuir uma área topograficamente mais baixa, árvores de porte arbóreo maior e ser colonizada por mangues jovens que margeiam a planície costeira, adaptados às inundações e à elevada salinidade. Nessas condições, o solo apresenta aspecto argiloso, bastante úmido por toda a superfície do terreno, sujeito a maior frequência e tempo de inundação pelas marés. Essas características contribuem para o acúmulo de matéria orgânica no solo, que está sendo constantemente acrescido de partículas em suspensão na água e material orgânico, transportados pelas correntes de marés.

Perfil da Área 1 (Figura 2):

- De 0-50 m há uma colonização de bosque de mangue composto em sua maioria por *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), indivíduos jovens, e algumas espécies de *Laguncularia racemosa* (mangue branco).

- De 50-100 m ocorre a predominância de *Rhizophora mangle*, com presença de árvores altas e grandes raízes, formando um bosque mais fechado.

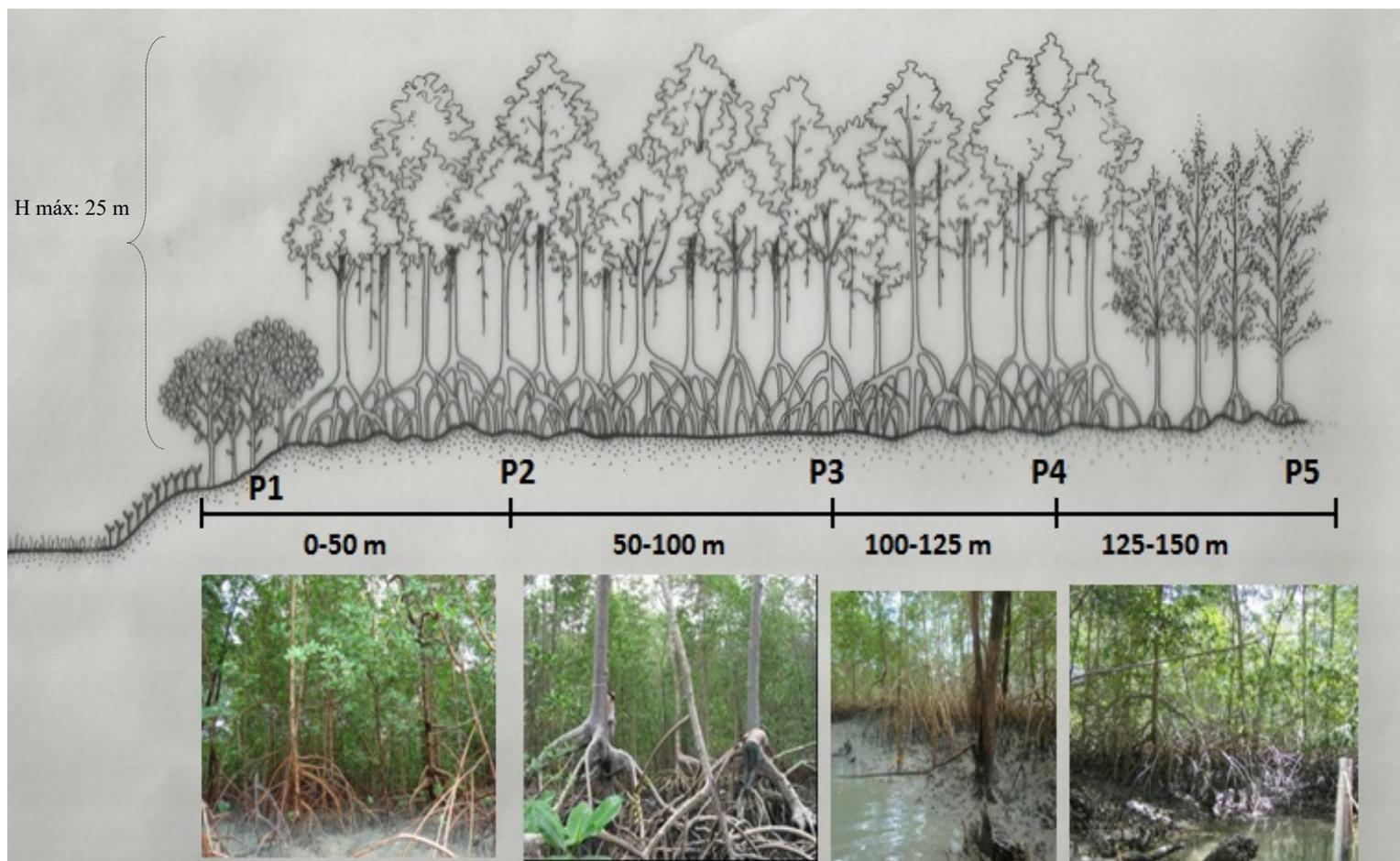
- De 100-125 m há um canal de maré atravessando o manguezal e também ocorre a predominância de *Rhizophora mangle* com grandes raízes, além da presença de *Laguncularia racemosa* e muitos indivíduos novos de *Rhizophora*. O porte arbóreo neste segmento também é elevado.

- Entre 125-150 m, a *Rhizophora* se manifesta de forma mais abundante nas bordas do canal, com presença de *Avicennia* e *Laguncularia*.

A condição natural do bosque de mangue como um todo apresenta estrutura bastante diferenciada, composta por árvores que atingem a altura de 25 m.

Em todo o perfil da Área 1 o solo apresentou aspecto lamoso e bastante úmido, contendo uma grande quantidade de matéria orgânica, como folhas, raízes e restos de crustáceos em decomposição. O ambiente exala um forte odor característico de manguezal, em decorrência do processo de decomposição anaeróbia da matéria orgânica em um solo frequentemente inundado pelas marés, gerando um gás a base de enxofre, conferindo um odor semelhante ao de ovo podre.

Figura 2- Perfil da Área 1, manguezal de intermaré, Ilha de Itarana.



Fonte: Cedida e adaptada de Bastos, Lins e Castro - MPEG (não publicado).

6.1.2 Sítio Amostral da Comunidade Caranã - Área 2

A Área 2 (0°41'9.60" S e 47°15'59.82" WG), está localizada em São João de Pirabas, na comunidade Caranã, à sudoeste da a Ilha de Itarana (Figura 1). O seu acesso ocorre pela rodovia PA-124, passando por uma estrada de piçarra até chegar a uma pequena igreja, próxima ao local de estudo. A Área 2 é caracterizada como manguezal de supramaré, por encontrar-se em terrenos mais elevados, com presença de vegetação de pequeno porte e frequência de inundação pela maré bem inferior ao de manguezais de intermaré, sendo banhados pelas águas dos estuários durante as marés de sizígia.

Perfil da Área 2 (Figura 3):

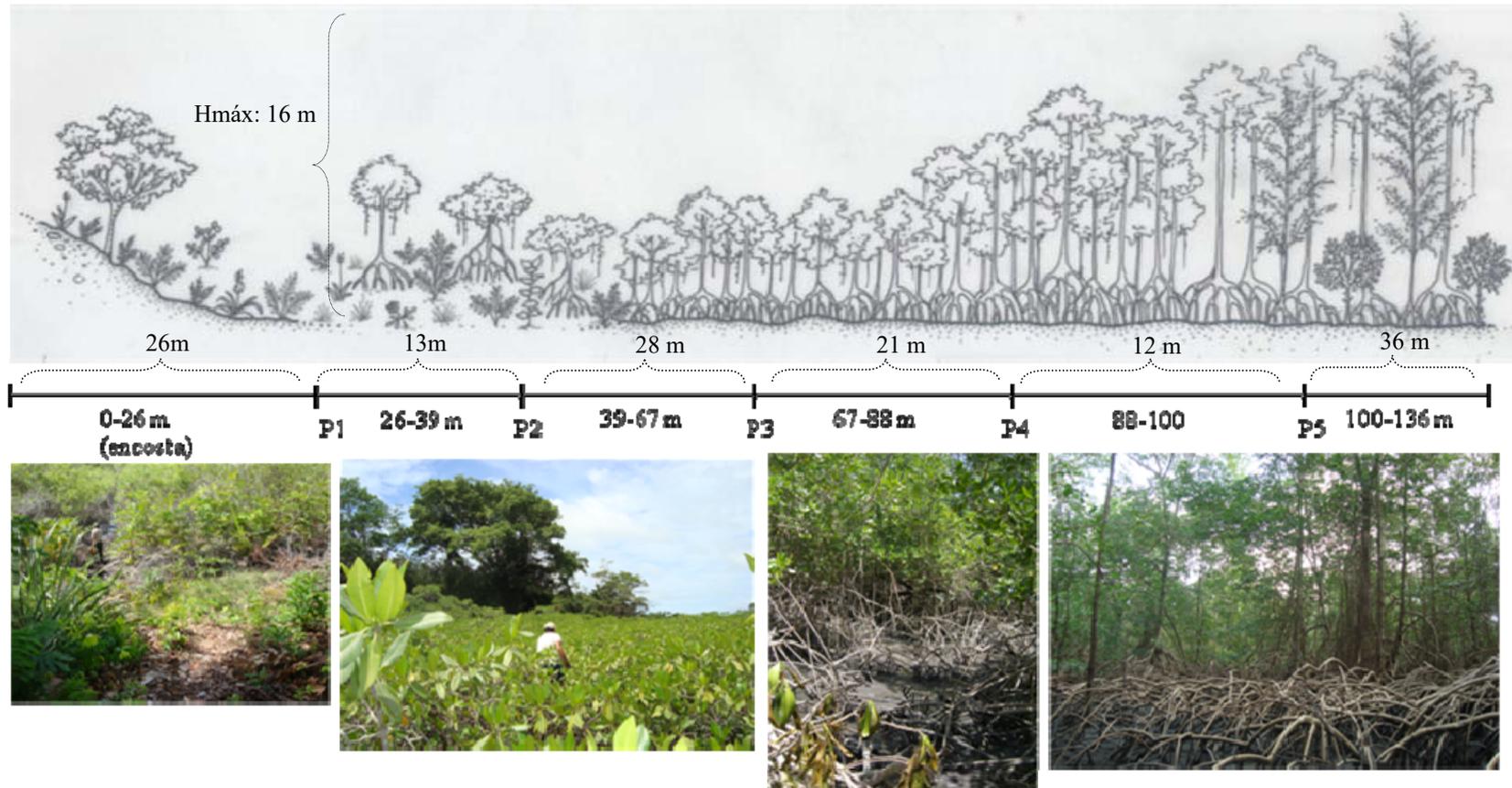
- No início do perfil (26 a 67 m) observa-se uma zona de apicum, nos pontos P1, P2 e P3, com registro de *Conocarpus erectus* (mangue bolota ou mangue de botão) Estes pontos recebem influência de água doce proveniente de igarapés próximos, os quais chegam ao local sob forma de ramificações d'água, bem como da água da chuva, principalmente durante o período chuvoso, atribuindo à este segmento uma característica diferente da que geralmente ocorre em apicuns.

A influência de água doce no início deste perfil favorece o aparecimento de uma vegetação de pequeno porte, composta principalmente de *Rhizophora mangle*, que por sua vez, não consegue se desenvolver, atingindo altura de até 3 metros, devido a pouca umidade e salinidade elevada do solo, principalmente durante a época de estiagem.

O solo continha grande quantidade de raízes finas e apresentou aspecto mais arenoso na zona de apicum, o que favorece a infiltração da água e promove o ressecamento do solo durante o período de estiagem.

- No final do perfil (88 a 136 m), próximo aos pontos P4 e P5, o perfil passa a receber influência de águas dos estuários, atribuindo características mais semelhantes aos manguezais típicos de intermaré, com solo mais argiloso e úmido, além da presença de grande quantidade de pneumatóforos (raízes que crescem verticalmente em direção à superfície e que na maré baixa ficam expostas ao ar), com predominância da espécie *Rhizophora mangle* sobre a *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*.

Figura 3- Perfil da Área 2, manguezal de supramaré.



Fonte: Cedida e adaptada de Bastos, Lins e Castro - MPEG (não publicado)

6.2 Frequência e período sazonal amostrado

A coleta de solo e folhas de serapilheira ocorreu no período menos chuvoso (dias 15, 16 e 17 de setembro/2011) e no período chuvoso (dias 13, 14 e 15 de abril/2012). Para tanto, realizou-se uma amostragem em cada período sazonal, sendo necessário, em torno de um dia de coleta em cada sítio amostral.

6.3 Dados de precipitação pluviométrica

Em fevereiro de 2012 foi instalado próximo na área de estudo um pluviômetro confeccionado com garrafa pet (Figura 4), com o intuito de fornecer informações da quantidade de precipitação nos períodos de chuva e estiagem. Este pluviômetro, de coordenadas geográficas 0°42'41.44" S e 47°18'2.54" WG, está situado em São João de Pirabas, na comunidade Pindorama, no quintal de uma casa situada próxima a rodovia PA-124, em local livre de qualquer interferência externa. A distância aproximada desse pluviômetro para a Área 1 e 2 é de, respectivamente, 8,8 km e 4,73 km.

Tal pluviômetro possui uma área de captação de 330 cm², composto por um tubo PVC de 35 cm de comprimento e 14,5 cm de diâmetro. Apresenta uma redução de esgoto de 150 para 100 mm e na base é composto por uma garrafa pet, um cotovelo de 90° e uma torneira de bebedouro. O pluviômetro pet foi elaborado através de uma adaptação da técnica de Assunção e Assis (1997) e fornecido pela UFPA (Universidade Federal do Pará).

O procedimento consiste em medir diariamente, às 9hs da manhã do dia seguinte, a quantidade de chuva acumulada do dia anterior, com o auxílio de uma proveta de 250 ml. Após abrir a torneira e posicionar a proveta, anota-se a quantidade de precipitação que caiu dentro do pluviômetro pet.

Figura 4- Pluviômetro artesanal, adaptado com garrafa pet.



Fonte: Da autora

Além das coletas de precipitação com a garrafa pet adaptada foram realizadas medidas com pluviômetro de báscula ou basculante, resolução de 0.1mm (Figura 5), de coordenadas geográficas $0^{\circ}39'50,48''$ S e $47^{\circ}17'4,05''$ WG, situado na torre micrometeorológica do LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia) em Cuiarana, próxima às áreas de estudo. As medições de precipitação são registradas de 10 em 10 minutos, fornecendo dados de precipitação diários e mensais, os quais são armazenados em um data-logger. Estes dados foram fornecidos pela equipe do LBA da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), responsável pelo monitoramento da torre situada em Cuiarana.

A distância do pluviômetro de báscula para a Área 1 e 2 é de aproximadamente 4,66 km e 3,14 km, respectivamente. O pluviômetro pet e o basculante distam entre si em torno de 5,55 km.

Figura 5- Pluviômetro automático basculante da torre micrometeorológica.



Fonte: Da autora

6.4 Procedimentos de campo

6.4.1 Seleção dos pontos amostrais

Os pontos de coleta de solo e serapilheira fina (folhas) foram selecionados nos dois perfis de manguezal, de características distintas, facilmente observadas em campo durante as visitas prévias, como a topografia, influência das marés, solo, estrutura e densidade dos bosques de mangue, fatores determinantes para a escolha dos sítios amostrais e da seleção dos pontos de coleta.

Em cada perfil foi traçado 1 (um) transecto com auxílio de uma trena. Na Área 1, o transecto iniciou-se na margem, seguindo em direção ao interior do manguezal até às proximidades de outro canal de maré, pois este sítio amostral representa uma pequena parte da Ilha de Itarana, sendo circundado por vários canais de maré. Na Área 2, o transecto seguiu o sentido continente-canal de maré, de um nível topográfico mais elevado, com características de apicum, para um nível mais baixo, semelhante ao manguezal de intermaré.

Os pontos de coleta foram estabelecidos ao longo dos transectos, com a ordem de coleta seguindo o sentido do marco inicial ao final do transecto, havendo coleta simultânea de amostras de solo e folhas da serapilheira.

Na Área 1, estabeleceram-se 5 pontos de coleta de solo em um transecto de 150 m de comprimento, com distância de aproximadamente 50 m entre os pontos P1, P2 e P3, sendo de 25 m entre os pontos P3, P4 e P5 (Figura 2). Na Área 2, selecionou-se 5

pontos de coleta de solo, ao longo do transecto de 136 m de comprimento. A distância entre os pontos foi de aproximadamente: P1 ao P2: 13 m; P2 ao P3: 28 m; P3 ao P4: 21 m; P4 ao P5: 12 m (Figura 3).

Em relação à serapilheira fina, foram estabelecidos 3 pontos de coleta entorno dos 3 primeiros pontos de coleta de solo (P1, P2 e P3) em cada sítio amostral, em razão da dificuldade de coletar e/ou encontrar quantidade suficiente de folhas para análises laboratoriais.

Todos os pontos de coleta, bem como outros pontos importantes foram marcados com GPS marca Garmin, modelo GPSmap 76C5x, e as coordenadas geográficas estão discriminadas na tabela abaixo:

Tabela 1- Coordenadas geográficas dos pontos de coleta e outros importantes.

Ponto	Coordenadas geográficas	
	Latitude	Longitude
Pluviômetro Pet	00°42'41,44" S	47°18'2,54" WG
Pluviômetro de Bâscula	00°39'50,48" S	47°17'4,05" WG
P1A1	0°39'23.76"S	47°14'35.58" WG
P2A1	0°39'21.66"S	47°14'35.40" WG
P3A1	0°39'20.64"S	47°14'35.04" WG
P4A1	0°39'20.04"S	47°14'34.74" WG
P5A1	0°39'18.72"S	47°14'34.38" WG
P1A2	0°41'10.50"S	47°15'59.64" WG
P2A2	0°41'11.16"S	47°15'59.40" WG
P3A2	0°41'12.00"S	47°15'59.52" WG
P4A2	0°41'12.60"S	47°15'59.46" WG
P5A2	0°41'13.20"S	47°15'59.25" WG

Legenda: P: ponto; A: área.

Fonte: Dados da pesquisa

6.4.2 Coleta e acondicionamento das amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas com três repetições em cada ponto, com auxílio de trado tipo calador, próprios para solos argilosos e saturados, como também,

com trado holandês, indicados para solos mais rígidos, fibrosos e com grande quantidade de raízes, ideais para ambientes de apicum.

Nas coletas com trado calador, o material foi colocado sobre uma calha e envolvido com papel filme e, posteriormente, com papel alumínio, objetivando manter as características originais das amostras. Já em laboratório, foram fracionadas nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm e inseridas em sacos plásticos, com as devidas identificações.

O solo coletado com trado holandês permite a retirada das amostras nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm no instante em que são coletadas.

Os diferentes intervalos de profundidade nos pontos amostrais foram estabelecidos em função das características do solo ao longo de cada perfil de manguezal, sendo determinantes para a escolha dos materiais de coleta.

Deste modo, em todos os pontos da Área 1 utilizou-se o trado calador. Na Área 2, nos pontos P1 e P2, utilizou-se o trado holandês e nos demais pontos (P3, P4 e P5) o trado calador.

Logo após a coleta de solo, as amostras foram devidamente identificadas e acondicionadas em caixas de isopor com gelo reciclável. Em seguida, foram transportadas até o Campus de Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi, em Belém (PA), onde foram protocoladas e enviadas aos laboratórios de análises químicas, ficando armazenadas em freezer a uma temperatura abaixo de 0°C, até a execução dos procedimentos analíticos.

6.4.3 Medidas de Salinidade da água intersticial (Sal), pH do solo em campo e Potencial Redox (Eh) do solo

No campo, 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 através da inserção direta (em cada amostra de solo) do eletrodo de platina (Eh) e do eletrodo de vidro (pH) de alta precisão.

6.4.4 Coleta e acondicionamento das amostras de serapilheira fina

A serapilheira coletada é composta somente de folhas encontradas próximas aos três primeiros pontos de coleta de solo, em um perímetro de até 5 m destes pontos,

totalizando 3 pontos de coleta de folhas de serapilheira em cada sítio amostral, com três repetições em cada ponto.

Coletou-se em torno de 150 a 200 g de folhas aleatoriamente, sem a diferenciação de espécies vegetais, dentre as quais se destacam as espécies que mais freqüentemente são encontradas nesse ecossistema: *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *Rhizophora mangle*.

Em seguida, as amostras foram devidamente identificadas e armazenadas em saco de papel, para posteriormente serem protocoladas e enviadas aos laboratórios de análises químicas do Museu Paraense Emílio Goeldi para execução dos procedimentos analíticos.

As espécies de mangue encontradas ao longo dos perfis foram identificadas pela equipe de botânica do Museu Paraense Emílio Goeldi, coordenada pela Dra. Maria de Nazaré do Carmo Bastos.

Importante informar que tanto as coletas de solo, como as de folhas de serapilheira ocorreram na maré vazante e de quadratura, que acontece quando as forças de atração do sol e da lua se opõem, duas vezes em cada luação, devido ao quarto crescente e ao quarto minguante da lua, produzindo as marés de quadratura, ou marés de águas mortas, com preamares mais baixas e baixa-mares mais altas (MIGUENS, 1996).

6.5 Procedimentos de laboratório

A metodologia utilizada para as análises de solo e folhas de serapilheira seguiu as recomendações dos manuais de análise de solos de Silva (2003) e EMBRAPA (1997), respectivamente.

6.5.1 Preparo e análise química de solo

Nas análises químicas, os perfis de solo foram dispostos separadamente em recipientes de plástico, devidamente limpos e identificados, para a secagem das amostras em uma sala climatizada, livre de contaminações externas. Posteriormente, as amostras foram maceradas, destorroadas com rolo e peneiradas em peneira de malha 1 mm, retirando com pinça, o excesso de raízes finas que passaram através da malha. Este procedimento inicial de preparo de amostras foi adotado para todas as análises químicas de solo, com intuito de reduzir ao máximo as interferências sobre os resultados analíticos.

6.5.1.1 Carbono orgânico total (C), nitrogênio total (N) e enxofre total (S)

Para as determinações de nitrogênio, carbono e enxofre, pesaram-se dois gramas das amostras peneiradas, que depois foram pulverizadas com gral e pistilo de ágata. Posteriormente, o ácido clorídrico (1N) foi gotejado sobre elas com o auxílio de uma pipeta descartável, até umedecê-las, visando à eliminação de carbonatos. Depois da adição do ácido, as amostras secaram em estufa à temperatura de 60 °C, onde ficaram por aproximadamente 24 horas.

Após a secagem, pesou-se 200 mg de cada amostra, para a leitura de carbono e nitrogênio, sobre uma folha de estânio. Em seguida, esta mesma folha envolveu as amostras pesadas, acondicionando-as até o momento da análise por combustão a seco, no equipamento Analisador Elementar- TruSpec CHN/ CHNS, marca LECO, com módulo para enxofre separado do módulo de carbono, hidrogênio e nitrogênio (CHN). As amostras foram inseridas em um carrossel acoplado ao módulo de CHN e depois depositadas automaticamente, uma por vez, no forno principal de 950°C e em seguida, no forno secundário de 850°C, quantificando o carbono e o nitrogênio.

Para a determinação de enxofre, pesou-se novamente 200 mg sobre uma pequena barca de material resistente, adicionando 1 g do catalisador (COM-CAT da marca LECO) em cada amostra pesada. Posteriormente, as amostras foram inseridas no forno de 1300° C do módulo de enxofre, onde se realizaram as leituras de enxofre, também por combustão a seco.

As determinações de carbono, nitrogênio e enxofre no solo ocorreram no laboratório de análises de solo da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e o restante das análises, apresentadas a seguir, foi processado no laboratório de análises químicas do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG).

6.5.1.2 Fósforo disponível (P)

A determinação de fósforo adotou o método espectrofotométrico, cuja análise utiliza a solução obtida através da extração com extrator de Mehlich, reagindo com o molibdato de amônio e utilizando ácido ascórbico como redutor. A reação resulta na coloração azulada da solução, que será proporcional ao teor de fósforo presente na solução, ou seja, quanto mais azul escuro, maior o teor de fósforo na solução, e quanto mais azul claro, menor o teor da substância.

As leituras de P foram determinadas no espectrofotômetro UV/vis DB 1880 S (Spectro Vision).

6.5.1.3 Sódio (Na⁺), Potássio (K⁺), Cálcio (Ca²⁺) e Magnésio (Mg²⁺) trocáveis e Ferro Total (Fe).

Nas determinações dos macronutrientes Na⁺ e K⁺ e do micronutriente Fe, utilizou-se o mesmo líquido sobrenadante filtrado obtido na extração do fósforo, sendo a solução extratora de Mehlich utilizada como a prova em branco.

As leituras de Na⁺ e K⁺ processaram-se no aparelho Fotômetro de Chama, marca Corning, modelo 400, e as determinações de Fe ocorreram no equipamento Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama, da marca Instrumentos Científicos C. G. e modelo AA 904, equipado com corretor de fundo com lâmpada de deutério.

O mesmo procedimento para a determinação de sódio e potássio foi seguido para as análises de cálcio e magnésio. Entretanto, no lugar da solução extratora de Mehlich, utilizou-se a solução extratora de KCl, a 1N, pH 7 e, como branco das amostras, a mesma solução de KCl.

As leituras de Ca²⁺ e Mg²⁺ ocorreram no equipamento Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama, marca Instrumentos Científicos C. G. e modelo AA 904, equipado com corretor de fundo com lâmpada de deutério.

6.5.1.4 Alumínio trocável (Al³⁺)

A metodologia empregada para determinação do alumínio foi por volumetria de neutralização. Retirou-se 25 mL do mesmo extrato obtido durante a extração para determinação do Ca⁺ e Mg⁺, transferindo para um erlenmeyer, adicionando 3 gotas do indicador fenolftaleína a 1% e titulando com NaOH 0,025N até o aparecimento da coloração levemente rósea. Em seguida, o volume de NaOH gasto na bureta foi anotado e o teor de Al³⁺ quantificado, segundo a igualdade:

$$\text{meq Al}^{+++} / 100\text{mL de TFSA(terra fina seca ao ar)} = \text{mL de NaOH gasto na bureta.}$$

6.5.1.5 Potencial hidrogeniônico (pH)

Este parâmetro foi determinado através do método em água destilada (pH_{H₂O}) na proporção de 1: 2,5.

6.5.2 Preparo e análises químicas de folhas de serapilheira

As amostras de serapilheira fina (folhas) passaram pelo processo de secagem na estufa, à temperatura de 45⁰, durante o período de 96 horas. Após esse processo, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey, armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados, para em seguida serem encaminhadas ao laboratório.

As análises de carbono e enxofre totais ocorreram por combustão a seco, no equipamento Analisador Elementar- TruSpec CHN/ CHNS (LECO).

A determinação de potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sódio (Na⁺) e ferro total (Fe) foi por digestão ácida das amostras, utilizando-se ácido nítrico e ácido perclórico, em temperatura de 180⁰C durante 45 minutos, para obtenção do digerido límpido. Após a digestão ácida e as etapas do processo com água destilada, utilizou-se a solução de vanadato de amônia e molibdato de amônia.

As leituras de Na⁺ e K⁺ foram feitas em espectrofotômetro de chama. Já para o Ca²⁺, Mg²⁺ e Fe, as leituras foram obtidas por absorção atômica (Spectr AA-220-Atomic Absorption Spectrometer), seguindo a metodologia determinada pela EMBRAPA (1997).

Os resultados das análises químicas de serapilheira são parte do banco de dados de um trabalho desenvolvido pela bióloga Dra. Rosecélia da Silva Castro, da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia do Museu Paraense Emílio Goeldi.

As determinações de carbono, nitrogênio e enxofre em folhas de serapilheira ocorreram no laboratório de análises de solo da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e o restante das análises foi processado no laboratório de análises químicas do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG).

6.6 Análise de dados

Primeiramente, para a análise estatística dos dados de solo, realizou-se a média ponderada nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, padronizando-as como

amostras na profundidade de 0-20 cm, permitindo o estudo comparativo entre as áreas estudadas, considerando, então, as profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm.

A partir disto, para o cálculo do **n** amostral para análise dos atributos químicos do solo, levou-se em consideração as profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm), os cinco pontos de coleta de cada área, as três repetições de cada ponto, o período de coleta (chuvoso e menos chuvoso) e as Áreas 1 e 2, totalizando um **n** amostral de 180.

Em seguida, os dados foram submetidos à análise estatística ACP (Análise de Componentes Principais) ou PCA (Principal Component Analysis), que não apresenta restrições quanto à normalidade dos dados.

A ACP é uma técnica matemática que possibilita classificar os pontos e/ou encontrar relação entre eles, portanto, deve ser usada quando há necessidade de se conhecer a relação entre os elementos de uma população e exista a suspeita de influência de um conjunto de variáveis ou propriedades dos elementos disponíveis na referida relação. A Análise de Componentes Principais possui um campo vasto de utilização quando se trata de conjunto de dados multivariados, ou seja, quando muitas variáveis interagem concomitantemente no fenômeno ou processo estudado e que não seja possível postular, com base nos dados disponíveis, uma estrutura particular dessas variáveis, como comumente acontece na geologia (ANDRIOTTI, 1997).

Então, as variáveis submetidas à Análise de Componentes Principais foram: período sazonal (chuvoso e menos chuvoso), áreas (Área 1 e Área 2), profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) nutrientes do solo (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , P, C, N, S e Fe) e pH medido pelo método em água destilada ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), propiciando a análise dos atributos químicos do solo por meio da correlação entre essas variáveis.

Já para o estudo da interação solo e folhas de serapilheira, aplicou-se uma ACP para cada área separadamente (Área 1 e Área 2), permitindo a visualização individual das mesmas nos gráficos gerados, com as variáveis: período sazonal (chuvoso e menos chuvoso), nutrientes das folhas de serapilheira (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , C, S e Fe) e nutrientes do solo (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , C, S e Fe), considerando apenas as amostras de solo coletadas na camada superficial, na profundidade de 0-20 cm, onde as interações físico-químicas entre a serapilheira e o solo são mais intensas.

Assim, o **n** amostral de folhas de serapilheira totalizou 36, compreendendo a Área 1 e 2, os três pontos coletados de cada área, as três repetições de cada ponto e o período sazonal amostrado.

Neste trabalho, foram utilizadas apenas as duas primeiras componentes principais, tanto pela facilidade de interpretar gráficos em duas dimensões, quanto e, principalmente, por juntas (componente principal 1 e 2) totalizarem mais de 70% dos dados, porcentagem acima da qual é considerada suficiente para explicar a distribuição dos dados.

A ACP não foi aplicada ao potencial redox (Eh), pH de campo e salinidade da água intersticial (Sal), pois não foi possível mensurar esses parâmetros em todas as amostras da Área 1 durante o período de estiagem, bem como nos pontos P1 e P2 situados na zona de apicum da Área 2, devido o solo encontrar-se muito seco. Sendo assim, para esses parâmetros, utilizou-se a análise estatística descritiva.

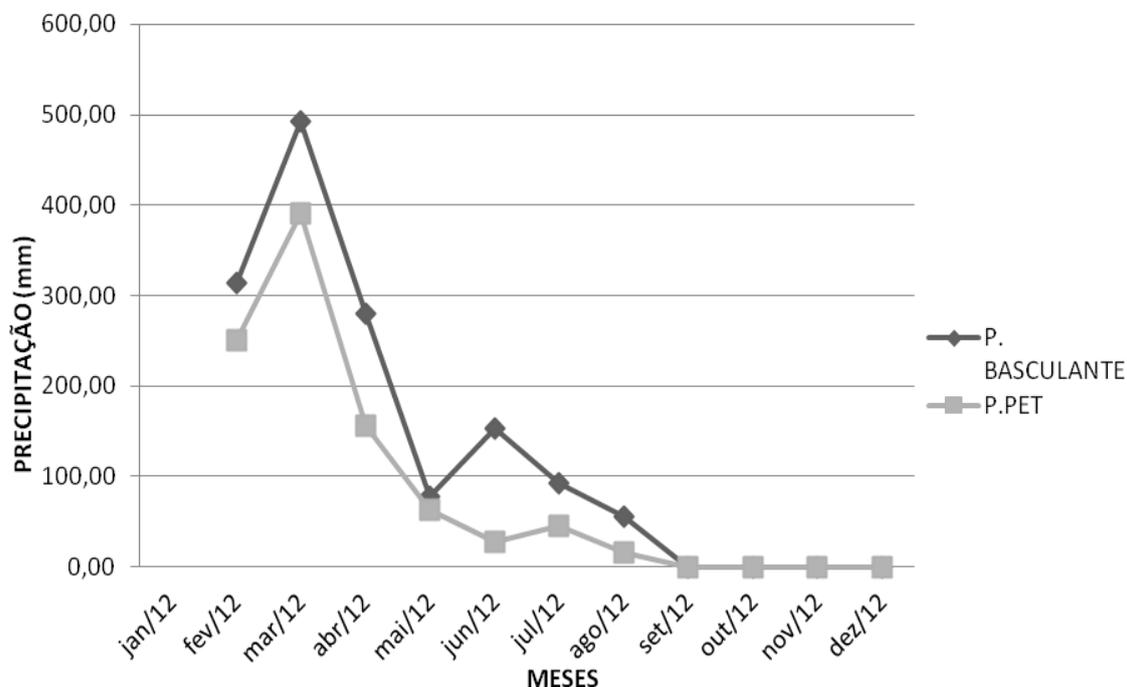
A Análise de Componentes Principais foi executada no software R, versão 2.15.2.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Precipitação pluviométrica

Ao analisar os dados do pluviômetro pet e de báscula, observou-se que, em geral, os registros de pluviosidade seguem um comportamento semelhante, mesmo não coincidindo em proximidade de valores em alguns meses (Figura 6), levando a considerar que a distância dos pluviômetros aos sítios amostrais, a sensibilidade dos equipamentos e a maior proximidade da torre micrometeorológica do mar foram fatores que possivelmente influenciaram nesta diferença. Acredita-se que o pluviômetro de báscula representou melhor a quantidade de precipitação pluviométrica às proximidades dos sítios amostrais, sem deixar de ressaltar, no entanto, a devida importância dos dados obtidos através do pluviômetro pet, que, como se observa na figura abaixo, gerou uma boa representação do ndice pluviométrico local.

Figura 6- Precipitação pluviométrica coletada através do pluviômetro pet e basculante, nos meses de fevereiro/2012 a dezembro/2012.



Fonte: Dados da pesquisa

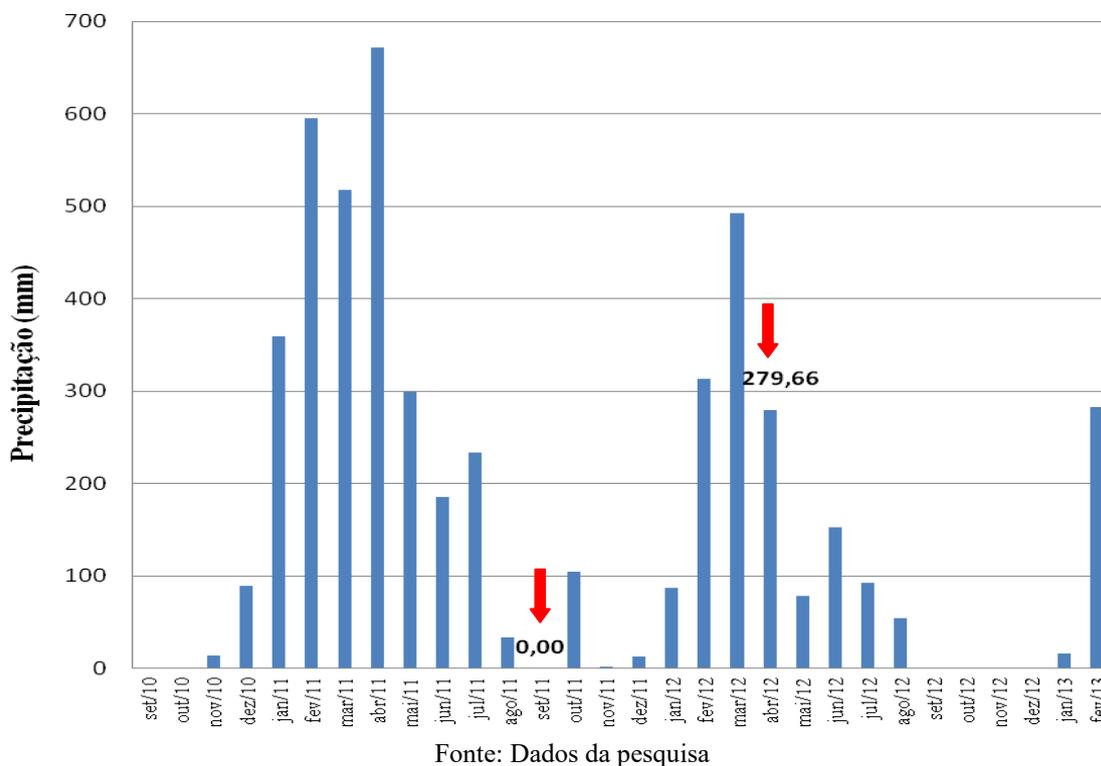
Os maiores índices de precipitação ocorreram no mês de fevereiro, março e abril de 2012, com pico de 492 mm e 390 mm em março, registrados nos pluviômetros basculante e pet, respectivamente. Destaca-se que nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2012 não houve registro de chuvas no pluviômetro pet. Em setembro e outubro, o pluviômetro de balança também não detectou incidência de precipitação pluviométrica.

Esta semelhança no comportamento dos dois equipamentos aponta a eficácia e confiabilidade nos resultados, considerando que apresentaram variação das chuvas seguindo certo padrão, mesmo apontando diferenças consideráveis nos valores (em alguns meses), que quase sempre foram mais elevados no pluviômetro de balança.

Importante informar que a partir do dia 12 de novembro de 2012 à 24 de janeiro de 2013, o sensor do pluviômetro basculante deixou de transmitir as informações de precipitação pluviométrica ao data logger, devido à um problema técnico no equipamento. Apesar deste incidente, sabe-se que na estação micrometeorológica onde o pluviômetro se encontra, a precipitação pluviométrica foi baixa no mês de novembro/2012, sendo um pouco mais elevada no mês de dezembro/2012, segundo informações do morador responsável pela fiscalização da estação micrometeorológica de Cuiarana.

A figura 7 indica os valores mensais de precipitação pluviométrica coletada pelo pluviômetro automático basculante situado em Cuiarana, próximo à área de estudo, com os meses de coleta, período seco, (setembro/2011) e chuvoso (abril/2012), em destaque.

Figura 7- Valores mensais de precipitação pluviométrica de setembro de 2010 a fevereiro de 2013, coletada pelo pluviômetro automático basculante, da torre micrometeorológica do LBA, em Cuiarana.



De acordo com esses registros, observou-se que nos anos de 2010, 2011 e 2012, os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro, obtiveram baixos índices pluviométricos em relação aos outros meses, com exceção de out/2011, que registrou 105 mm de chuva, valor relativamente mais elevado para o período menos chuvoso registrado na área. Destaca-se o mês de setembro, no qual as amostras foram coletadas, que obteve valores de precipitação próximos à zero mm (0,254 mm) em 2010, e nos anos 2011 e 2012 não registrou nenhuma ocorrência de chuva.

Os meses de fevereiro, março e abril de 2011 e 2012 obtiveram as maiores precipitações pluviométricas, caracterizando o período mais chuvoso registrado através do pluviômetro basculante, com o maior pico de 672 mm em abril/2011. Na coleta realizada na época chuvosa (abril de 2012), a precipitação atingiu 280 mm.

A partir dos dados coletados pelo pluviômetro basculante, os meses atribuídos ao período chuvoso e menos chuvoso assemelham-se aos estudos realizados por Martorano et al. (1993), que considerou o período chuvoso iniciando em dezembro, indo até o mês de maio e estação menos chuvosa iniciando em junho, com fim em novembro.

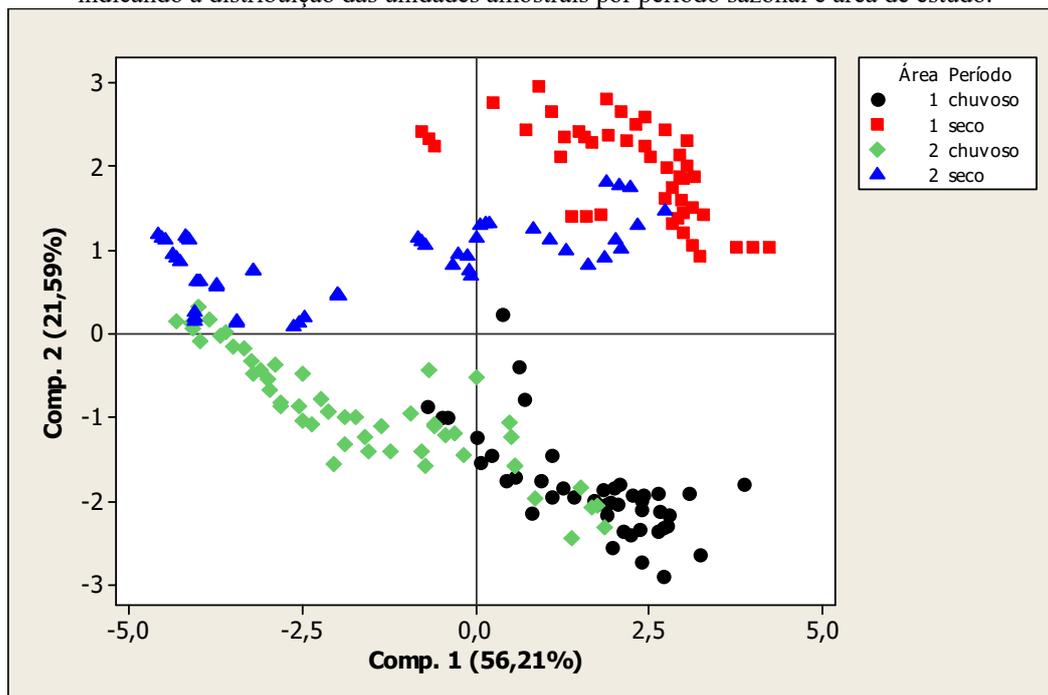
7.2 Atributos químicos do solo

Os resultados gerados pela análise estatística dos nutrientes do solo (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , C, N, S, P e Fe) e pH em água destilada ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), nas respectivas profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) coletadas nos sítios amostrais durante a estação chuvosa e menos chuvosa, geraram informações relevantes acerca das variáveis em estudo, permitindo uma melhor interpretação dos resultados por meio da representação gráfica da Análise de Componentes Principais (ACP).

Conforme os gráficos (Figura 8 e 9), a componente principal 1 (comp. 1) explica 56,21% da variabilidade dos dados e a componente principal 2 (comp. 2) 21,59 %, totalizando 77,8% da variabilidade total dos dados. As variáveis associadas à componente 1 são o C, N, S, P, Fe, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} e à componente 2 são o Na^+ , K^+ e pH.

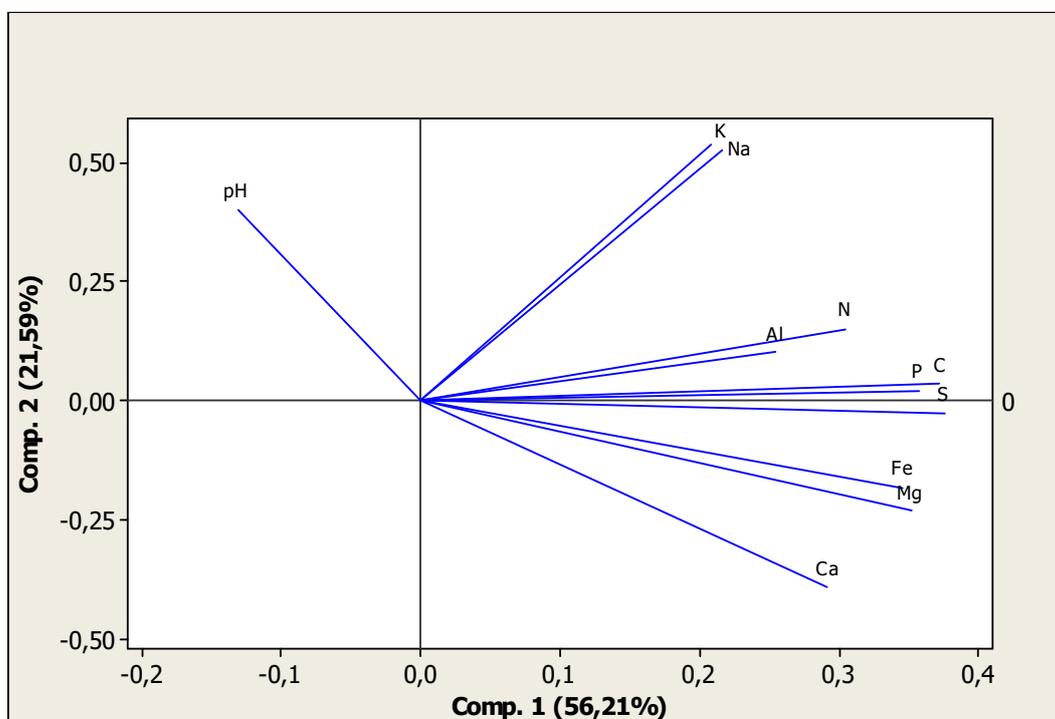
De acordo com a figura 8, há formação de agrupamentos em função de dois fatores principais: a área e o período sazonal. Do lado direito do plano das componentes principais, concentra-se a maioria das amostras da Área 1 (representadas pelo círculo preto e quadrado vermelho), e do lado esquerdo há uma maior concentração das amostras da Área 2 (representadas pelo losango verde e triângulo azul). O período de estiagem está evidenciado pelo agrupamento das amostras no plano superior do gráfico (quadrado vermelho e triângulo azul) e o período chuvoso no plano inferior (círculo preto e losango verde). A formação desses agrupamentos indica que a profundidade não exerceu muita influência sobre os resultados e que a área e o período sazonal são os fatores que mais explicam a distribuição dos dados.

Figura 8- Gráfico de ACP (com as componentes principais 1 e 2) dos parâmetros químicos do solo, indicando a distribuição das unidades amostrais por período sazonal e área de estudo.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 9- Gráfico de ACP (com as componentes principais 1 e 2) dos parâmetros químicos do solo, com os autovetores correspondentes.



Fonte: Dados da pesquisa.

Fazendo a sobreposição das informações contidas nos gráficos das figuras 8 e 9, que representam as mesmas componentes principais, observa-se claramente que o Na^+ e o K^+ são variáveis que mais exercem influência na formação do agrupamento no período de estiagem na Área 1, estando fortemente correlacionadas. Esse resultado coincide com as elevadas concentrações desses nutrientes, que atingiram uma média de $520,23 \text{ cmol/dm}^3$ de Na^+ e $163,48 \text{ cmol/dm}^3$ de K^+ , na época de estiagem. Ainda na Área 1, durante a estação chuvosa, essas concentrações foram bem mais baixas, com média de $11,27 \text{ cmol/dm}^3$ de Na^+ e $4,07 \text{ cmol/dm}^3$ de K^+ .

Assim, a variação na concentração desses nutrientes está intimamente ligada à sazonalidade climática, evidente nos dois sítios amostrais, onde os teores desses cátions foram bem mais elevados durante o período menos chuvoso, apresentando uma considerável redução na época chuvosa, especialmente no manguezal de intermaré (Tabela 2). Isto se explica pela diluição provocada pelas águas pluviais, resultado na diminuição dos teores desses nutrientes, assim como pelo processo de lixiviação do solo, sobretudo no manguezal de supramaré.

Os aportes de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} sugerem contribuições das marés, visto que os maiores valores desses cátions encontram-se no perfil 1 (Tabela 2), que está sob constante influência dos canais de maré que entrecortam a Ilha de Itarana.

Nos resultados de Berrêdo (2006), o aumento dos teores de Na, K, Ca, Mg e SO_4^{2-} também estiveram relacionados ao período de estiagem e a presença das águas oceânicas no estuário do rio Marapanim. Dentre outras informações relevantes, esse estudo ressaltou a influência da curta e marcante sazonalidade climática no nordeste do Pará (especialmente a precipitação pluviométrica e a temperatura) sobre os sedimentos desse estuário, resultando na concentração ou diluição da salinidade intersticial, principalmente na superfície do sedimento.

Tabela 2- Valores médios dos parâmetros químicos sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}) nas Áreas 1 e 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm.

Variável	Profundidade (cm)	ÁREA 1		ÁREA 2	
		Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
Na^+ (cmol _c /kg)	0-20	551,46	9,46	130,57	4,53
	20-40	508,21	11,28	145,7	5,50
	40-60	501,01	13,05	157,36	5,52
K^+ (cmol _c /kg)	0-20	169,45	4,03	35,91	1,25
	20-40	165,28	4,15	31,86	1,40
	40-60	155,69	4,04	39,66	1,33
Ca^{+2} (cmol _c /kg)	0-20	4,43	8,55	1,69	3,08
	20-40	5,35	9,47	1,61	3,70
	40-60	4,86	9,93	1,73	4,00
Mg^{+2} (cmol _c /kg)	0-20	15	16,48	4,07	5,53
	20-40	16,29	21,35	3,77	7,22
	40-60	14,60	22,32	4,00	8,09

Fonte: Dados da Pesquisa

Com base na figura 8 e 9, observa-se que as variáveis C, N, S, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e Fe, assim como o Na^+ e o K^+ , já citados anteriormente, também explicam a separação dos grupos em Área 1 e 2, havendo uma maior concentração de unidades amostrais representativas de cada área, do lado direito (Área 1) e esquerdo (Área 2) do plano das componentes principais.

A distribuição das variáveis do lado direito deste plano pode ser muito bem explicada pela elevada concentração desses nutrientes na Área 1, em comparação com a Área 2. O sítio amostral de Itarana apresenta mangues desenvolvidos, maior contribuição de matéria orgânica transportada pela maré e mais quantidade de serapilheira, enquanto que o sítio amostral da comunidade Caranã possui uma vegetação de porte menor e menos densa, com menos influência da maré e, portanto, menor aporte de matéria orgânica.

A diferença no teor de matéria orgânica entre os sítios amostrais é evidenciada pelos teores de carbono, com média de 40,95g/kg e 21,23 g/kg na Área 1 e 2, respectivamente, na época de estiagem, e 38,47 g/kg (Área 1) e 21,04 g/kg (Área 2), na estação chuvosa.

O acréscimo de material orgânico ao substrato de manguezais é o principal processo de adição que se observa nesse ecossistema, resultante do material de origem vegetal, como folhas, galhos e raízes em decomposição. Esse processo é verificado pela

distribuição dos valores de carbono orgânico nos substratos, que são mais elevados em superfície e, na medida em que a profundidade aumenta, esses valores vão diminuindo, enfatizando a importância da contribuição da vegetação no aporte de matéria orgânica para o solo (VIDAL-TORRADO et al., 2005). Entretanto, o que se observou nos sítios amostrais, em geral, os teores de carbono não diminuíram com a profundidade, comportamento mais evidente na Área 2, muito provavelmente em função do processo de lixiviação que ocorre na área de apicum, onde a presença de cobertura vegetal é reduzida.

O processo de adição de matéria orgânica contribuiu para os valores elevados de carbono, encontrados sobretudo no perfil 1, composto por um bosque mais denso e maduro, que está em constante contato com as águas dos canais de maré, que por sua vez, ainda contribuem com aportes de matéria orgânica provenientes de outros ambientes. Entretanto, no que se percebe em relação ao carbono, o período sazonal e a profundidade não exerceram relevante influência sobre os resultados, pois os teores desse parâmetro mantiveram-se sem grandes variações (Tabela 3).

Além das diferenças nas características ambientais entre os perfis 1 e 2, ainda existem as diferenças dentro de cada perfil, claramente percebidas na Área 2, que abrange zona de apicum no início do perfil, com presença de *Rhizophora mangle* de até 3 m de altura e registro de *Conocarpus erectus*, além da presença de solo mais seco e arenoso, como também abrange zona de manguezal no fim desse perfil, com bosque de mangue mais denso e composto predominantemente por *Rhizophora mangle* de maior porte, atingindo altura média de 9,81 m e máxima de 16 m, com solo argiloso e úmido.

O desenvolvimento do bosque de mangue ao final desse perfil é favorecido pelo aporte de nutrientes transportados pelas águas do estuário. Pela maturidade da *R. mangle* neste local, pode-se inferir que constitui um manguezal antigo.

As diferenças percebidas na dinâmica estabelecida ao longo do perfil 2 explicam o aumento na concentração de carbono e demais nutrientes na medida em que se aproxima do final desse perfil, justamente na porção que sofre maior influência do regime de marés e onde o bosque de mangue vai se adensando e aumentando o seu porte.

Geralmente, em apicuns, os mangues não se desenvolvem em razão da elevada salinidade, entretanto, no perfil 2, a influência de água doce proveniente dos igarapés às proximidades, assim como das águas das chuvas, especialmente durante o período chuvoso, favorecem o crescimento da vegetação de mangue até certa altura. Esse

processo também foi observado no trabalho de Hadlich; Ucha (2009), em apicuns da Baía de Todos os Santos, onde o comportamento da vegetação reflete as condições climáticas locais, com a salinidade associada ao maior ou menor aporte de água pluvial, que nos locais onde promoveu a remoção do excesso de sais, ocorreu um avanço da vegetação.

Os teores de nitrogênio, de forma geral, foram um pouco maiores na Área 1 em relação a Área 2, considerando os dois períodos sazonais (Tabela 3). Nesta última, o teor de nitrogênio diminui na medida em que se aproxima da zona de apicum, na parte mais interna do manguezal.

Os teores de enxofre também foram mais elevados no manguezal de intermaré, com média de 11,50 g/kg na Área 1 e 3,18 g/kg na Área 2, durante a época menos chuvosa e, na época chuvosa, a Área 1 e 2 apresentaram valores médios de 10,41 g/kg e 3,76, respectivamente.

Houve um aumento da concentração de enxofre com a profundidade, apresentando valores médios mais elevados no perfil 1 em relação ao perfil 2 (Tabela 3). A zona de oxidação gradativamente vai se tornando zona de redução com a profundidade, mudando a coloração de marrom amarelada na matriz e aspecto de mosqueamento marrom escuro, para coloração cinza clara a cinza escura dos sedimentos, representando o aumento da matéria orgânica, a ocorrência da pirita (FeS_2) e a presença de H_2S dissolvidos (BERRÊDO, 2006). Essa condição pode explicar o aumento da concentração de enxofre com a profundidade.

O aspecto mosqueado, devido à concentração de óxidos e hidróxidos de ferro, é evidenciado em algumas amostras coletadas no início da Área 2, que constitui zona de apicum, apesar disso, os valores de ferro nesta área foram notadamente inferiores no apicum em relação ao manguezal, com médias de 0,10 g/kg (ponto P1) e 1,88 g/kg (ponto P5) no período de estiagem, e médias de 0,57 g/kg (ponto P1) e 2 g/kg (ponto P5), na época chuvosa. A frequência muito baixa da maré na zona de apicum, associada ao processo de lixiviação do solo mais desprovido de vegetação pode explicar a redução nas concentrações de ferro do início do perfil em relação ao final.

Hadlich, Celino e Ucha (2010) abordam que a variação da condição reduzida-oxidada na zona de apicum, que é exposta por longos períodos nas marés baixas e submersa sob condições de marés muito elevadas (marés de sizígia), favorece a concentração de ferro através da mobilização e precipitação deste metal.

Em um estudo realizado em solos de manguezais do Litoral Sul do Estado de São Paulo, as maiores concentrações de ferro associado aos óxidos e hidróxidos estavam presentes nas camadas superficiais em comparação às concentrações encontradas em sub-superfície, comprovando a mobilização de ferro dissolvido existente em elevadas concentrações na água intersticial, para a superfície do solo, em razão do fluxo de água ascendente provocado pelas raízes das plantas. As condições oxidantes em que o ferro se encontra na camada superficial do solo faz com que ele se precipite sob a forma de óxido e hidróxido de ferro (VIDAL-TORRADO et al., 2005). Entretanto, neste estudo, a concentração dessa substância não seguiu um padrão definido nas profundidades, como consta na tabela 3.

O teor mais elevado de fósforo no perfil 1 (Tabela 3) pode se justificar pelo seu transporte através dos canais de maré até os sedimentos, sob a forma de fosfato (PO_4^{3-}), como também pelo tipo de espécies vegetais e maior densidade arbórea nessa área, produzindo mais serapilheira. Na Área 1 o teor médio de P foi de 29,97 mg/kg no período menos chuvoso e 26,5 mg/kg no chuvoso, já na Área 2 foi de 8 mg/kg e 9,37 mg/kg, demonstrando uma clara diferença entre as áreas.

Segundo Mendoza et al.(2012), a interação de diferentes características físico-químicas entre água intersticial e o regime de inundação pode controlar a concentração de P na fase líquida disponível para os manguezais. Em sua pesquisa, a maior variação redox (ΔE_h) e maior oxidação foram encontradas na zona de raízes de *A. germinans*, em comparação com a de *R. mangle*, em região de baixa variação de marés, o que pode estar controlando a disponibilidade de fósforo. A maior oxidação na zona de raízes de sedimentos sob *A. germinans* limita a disponibilidade de P e, conseqüentemente, a sua distribuição, ao passo que o gradiente vertical redox mais baixo sob as árvores de *R. Mangle* resultam em condições redutoras, favorecendo a formação de fósforo extraível, podendo ser considerada uma resposta adaptativa à absorção de nutrientes sob condições de alagamento.

Os teores de Al^{3+} não tiveram grandes variações entre os períodos sazonais e entre as áreas, sendo sempre mais elevados na estiagem e na Área 1(Tabela 3).

Tabela 3- Valores médios de carbono total (C), nitrogênio total (N), enxofre total (S), fósforo disponível (P), alumínio trocável (Al³⁺) e ferro (Fe) nas Áreas 1 e 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm.

Variável	Profundidade (cm)	ÁREA 1		ÁREA 2	
		Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
C (g/kg)	0-20	39,57	39,48	17,32	18,55
	20-40	42,68	38,87	22,20	20,59
	40-60	40,60	37,07	24,17	23,97
N (g/kg)	0-20	2,61	2,46	0,75	0,52
	20-40	2,58	1,60	0,90	0,50
	40-60	2,37	2,15	0,72	0,47
S (g/kg)	0-20	8,76	7,73	2,63	2,62
	20-40	12,64	10,81	3,23	3,48
	40-60	13,10	12,69	3,69	5,17
P (mg/kg)	0-20	30,36	21,62	8,14	9,17
	20-40	30,69	29,66	7,56	8,77
	40-60	28,86	28,21	8,25	10,16
Al ³⁺ (cmol _c /kg)	0-20	2,89	2,50	2,22	1,85
	20-40	5,85	3,61	3,51	2,52
	40-60	5,81	3,11	3,52	3,45
Fe (g/Kg)	0-20	2,08	3,43	0,79	1,05
	20-40	2,55	2,94	0,89	1,13
	40-60	2,38	3,02	1,17	1,55

Fonte: Dados da pesquisa

O pH_(H₂O) e o Ca são duas variáveis independentes uma da outra e inversamente proporcionais, sendo a primeira, a variável que mais influenciou o agrupamento da Área 2 na época menos chuvosa (Figuras 8 e 9), justamente onde se encontram os maiores valores dessa variável. Os valores de pH_(H₂O) assumem uma escala decrescente com o aumento da profundidade, sendo que no período chuvoso houve uma diminuição nos dois sítios amostrais (Tabela 4)

Esse comportamento diferiu dos resultados encontrados por Ponnampuruma (1972), em solos sob condições anaeróbicas, como no caso de manguezais sob forte influência das marés, em que o pH fica em torno de 6,7 à 7,2. No entanto, o pH de campo, também mensurado neste estudo, indicou valores mais elevados, tendendo a neutralidade (Tabela 4), assemelhando-se ao estudo de Ponnampuruma.

O Eh apresentou elevada condição de redução na Área 1, com valores de -232,75 mV a -335,73 mV (Tabela 4), enquanto na Área 2 apontou características oxidantes no início do perfil, onde se encontra a zona de apicum, ficando cada vez mais redutor quanto mais próximo do final desse perfil, que se assemelha ao manguezal de intermaré.

Nas duas áreas amostradas, o Eh indicou redução em profundidade, sobretudo até a camada de 20-40 cm, a partir da qual, em geral houve uma elevação nos valores desse parâmetro, que ainda assim permaneceram em condições de redução (Tabela 4). A característica redutora dos sedimentos de manguezais está associada à baixa declividade, que favorece a influência das águas por um período de tempo maior. Em consequência, os sedimentos são predominantemente redutores, fracamente ácidos a neutros, com salinidade elevada, principalmente durante o período menos chuvoso (BERRÊDO; COSTA; PROGÈNE, 2008).

A sazonalidade climática foi fator determinante para as oscilações de salinidade, com concentrações mais elevadas durante a estiagem. Esse parâmetro também foi maior na Área 1 em relação a Área 2 (Tabela 4), devido a maior frequência e tempo de inundação pelas marés. Nesta última, apesar de conter características de apicum no início do perfil, sofre influência de água doce advinda de igarapés próximos, resultando na redução da salinidade. Em geral, a salinidade varia em diferentes ecossistemas de acordo com a topografia, marés (baixas ou altas) e aporte de água doce (PALANISAMY; KHAN, 2009).

Assim, a salinidade intersticial (Sal) está associada à intrusão salina pelas águas dos estuários, precipitação pluviométrica e processo de evaporação (CRUZ, 2009), uma vez que no período de menos chuva, a evaporação favorece a concentração de sais na superfície do terreno e, no período chuvoso, as águas pluviais propiciam a diluição desses sais.

Tabela 4- Valores médios de pH mensurado em água destilada (pH-água), pH de campo (pH-campo), potencial de redox (Eh) e Salinidade intersticial (Sal) nas Áreas 1 e 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm.

Variável	Profundidade (cm)	ÁREA 1		ÁREA 2	
		Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
pH (água)	0-20	4,52	3,69	4,53	3,44
	20-40	3,66	3,00	4,02	2,99
	40-60	3,57	2,79	3,72	2,74
pH (campo)	0-20	6,15	6,71	6,45	6,51
	20-40	6,68	6,73	6,57	6,23
	40-60	6,76	6,78	6,63	6,08
Eh (mV)	0-20	-232,75	-263,10	-339,58	-67,07
	20-40	-335,60	-317,60	-374,33	-107,80
	40-60	-330,60	-335,73	-193,33	-35,33
Sal	0-20	41,60	19,75	19,75	15,57
	20-40	35,2	29	21	22,27
	40-60	33,6	32,27	28,33	23,47

Fonte: Dados da pesquisa

As diferenças nos valores do pH (campo) e o pH_(H₂O) certamente decorrem da metodologia de análise adotada, devendo-se levar em consideração que o pH de campo, representa melhor as condições naturais encontradas no ambiente, pois é mensurado no momento da coleta.

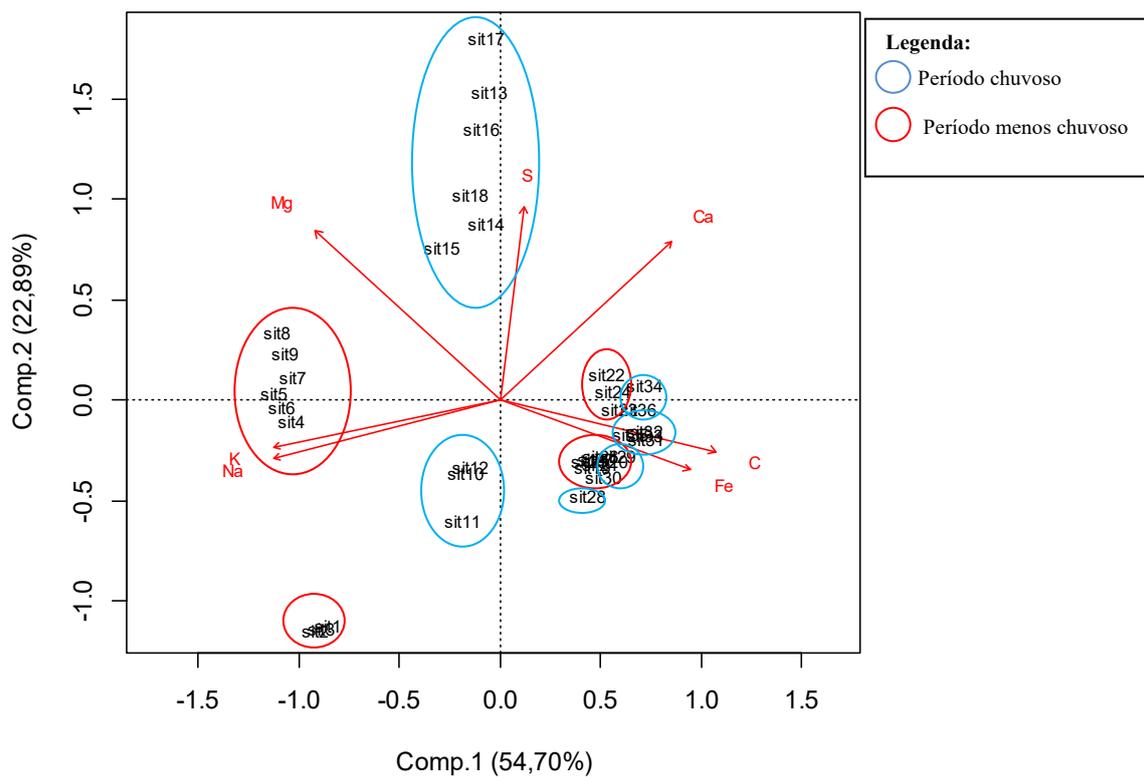
7.3 Interação solo e folhas de serapilheira

A partir dos resultados gerados pela ACP foram evidenciadas importantes informações acerca da correlação entre solo e folhas serapilheira, atestando as diferenças nos teores das variáveis em função do período sazonal e dos sítios amostrais (Áreas 1 e 2).

No gráfico das componentes principais 1 e 2, a identificação das unidades amostrais está representada pela palavra “sit”, seguida de um número que correspondente à linha da planilha de entrada dos dados para a análise de ACP. As setas indicam o ordenamento das variáveis. Os números de 1 a 18 correspondem as amostras de solo e de 19 a 36, as amostras de folhas de serapilheira (Figuras 10 e 11).

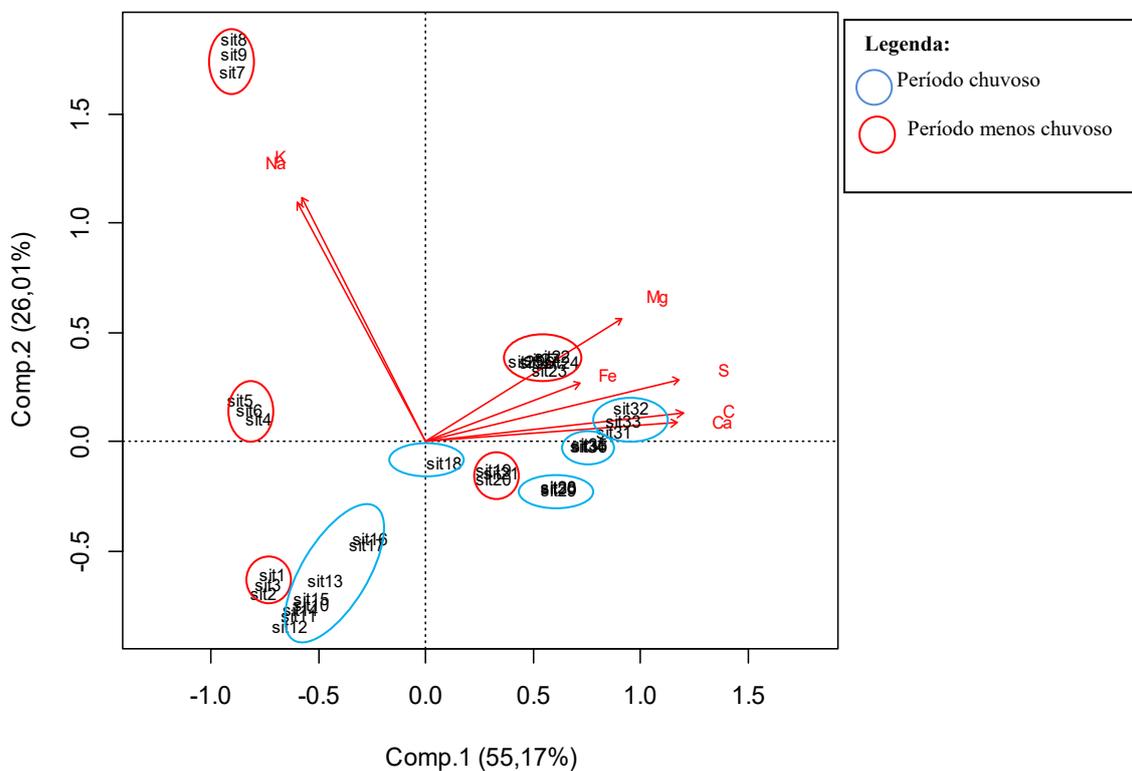
Com base no gráfico de ACP da Área 1 (Figura 10), verifica-se que as duas componentes principais (comp. 1 e comp. 2) totalizam 77,59% da variabilidade total dos dados, na qual a primeira componente explica 54,70% e a segunda explica 22,89% da variabilidade dos dados. As variáveis carbono (C), ferro (Fe), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sódio (Na⁺) e potássio (K⁺) estão associadas à componente 1 e apenas o enxofre (S) está associado à componente 2.

Figura 10- Gráficos de ACP (com as componentes principais 1 e 2) na Área 1, com os parâmetros químicos do solo e de folhas de serapilheira, durante a época chuvosa e menos chuvosa.



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 11- Gráficos de ACP (com as componentes principais 1 e 2) na Área 2, com os parâmetros químicos do solo e de folhas de serapilheira, durante a época chuvosa e menos chuvosa.



Fonte: Dados da pesquisa

O gráfico de ACP da Área 2 (Figura 11) evidencia que a componente 1 explica 55,17%, da variabilidade dos dados, enquanto que a componente 2 explica 26,01%, totalizando 81,18%. A maioria das variáveis estão associadas à primeira componente, dentre elas o C, S, Ca^{2+} , Mg^{2+} e o Fe, com exceção do Na^+ e K^+ , que estão associadas à segunda componente principal.

Nos sítios experimentais, as unidades amostrais foram separadas em solo e folhas de serapilheira, representadas do lado esquerdo e direito, respectivamente, do plano das componentes principais.

Na Área 1 e 2 (Figuras 10 e 11), formaram-se pequenos agrupamentos de amostras de solo em função da sazonalidade, com período chuvoso e menos chuvoso bem definidos e distantes entre si, diferentemente do comportamento das amostras de folhas de serapilheira, principalmente na Área 1, sugerindo que o período sazonal não exerceu forte influência na distribuição dos dados de serapilheira.

É evidente a associação entre as variáveis Na^+ e K^+ , e a forte influência que exerceram sobre os resultados de solo na Área 1, aumentando consideravelmente de $9,01 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Na^+ e $3,88 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de K^+ na estação chuvosa, para $516,66 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Na e $156,32 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de K^+ na estação menos chuvosa. Já em relação à Área 2, no período chuvoso o teor de Na^+ e K^+ no solo foi de $3,48 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $0,84 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente, e no período menos chuvoso foi de $56,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $13,48 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 5).

Portanto, o período sazonal foi importante para a grande variação de Na^+ e K^+ nos sítios amostrais, especialmente para as amostras de solo, mas também evidentes nos resultados das folhas de serapilheira. Durante a época de estiagem, os valores foram mais elevados, principalmente no manguezal de intermaré, enquanto que na época chuvosa, a diluição provocada pela água das chuvas, assim como a lixiviação dos nutrientes do solo provocou uma redução significativa nos teores desses nutrientes, como constatado por Berrêdo (2006), em que o aumento dos teores de Na, K, Ca, Mg e SO_4^{-2} reflete o período da estiagem e a presença das águas oceânicas no estuário do rio Marapanim.

O elevado teor desses macronutrientes na Área 1 também é consequência da influência marinha no solo desse ecossistema, sujeito ao regime de maré semidiurno, recebendo importante contribuição de Na^+ e K^+ provenientes das águas salgadas dos canais de maré, diferente das condições verificadas em manguezal de supramaré, onde a frequência de inundação pelas marés ocorre com uma frequência bem inferior.

O cloreto de sódio (NaCl) é o sal predominante em ambientes salinos e o que tem provocado maiores danos às plantas. A absorção excessiva dos íons Na^+ e Cl^- , provocando efeito tóxico, e o desequilíbrio nutricional causado pelos distúrbios na absorção ou distribuição dos nutrientes são os principais fatores que surtem efeito sobre a nutrição mineral das plantas (YAHYA, 1998).

Todavia, vários estudos relatam a adaptabilidade das espécies vegetais de mangue às condições salinas. Segundo Shan (2008), a adaptabilidade dos mangues à elevada salinidade pode ser parcialmente explicada pelos estudos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos. Entretanto, estes não são suficientes para esclarecer o mecanismo de adaptação ao sal e a sua evolução. Recentemente, alguns progressos foram alcançados na compreensão do mecanismo de adaptação à salinidade em manguezais à nível molecular. Os resultados destes estudos indicaram que a adaptação de mangues em ambientes de alta salinidade está fortemente ligada à regulação da expressão gênica.

Não houve grande variação no valor de Mg^{2+} no solo dos sítios amostrais quanto ao período sazonal, atingindo na Área 1 uma média de $13,50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na estiagem e $14,93 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no período chuvoso, já na Área 2, a média foi de $2,23 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na estiagem e $3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no período de chuva (Tabela 5). Em relação às folhas de serapilheira, o Mg^{2+} exerceu maior influência na distribuição dos dados durante o período menos chuvoso na Área 2, com formação de agrupamento na direção do autovetor desse nutriente (Figura 11).

Quanto a variável enxofre (S), esta possui uma correlação positiva com a componente 2 ($r = 0,76$) na Área 1, onde a distribuição das unidades amostrais representa a elevação do teor dessa variável no solo durante o período chuvoso, no qual as marés alcançam uma área maior em direção ao interior do manguezal. Somado a isso, a constante inundação desse ambiente pelas marés também contribui para o aumento da concentração de enxofre.

De acordo com Berrêdo (2006), essa condição pode estar relacionada às reações de oxirredução e ao acúmulo e decomposição da matéria orgânica, devido à circulação das águas nos manguezais, proporcionando o surgimento de fases sulfetadas, representadas principalmente pela pirita (FeS_2). Na zona de redução, o acúmulo de matéria orgânica e o constante aporte de sulfatos pelas marés de enchente, facilitam a ação bacteriana e o surgimento de elevados teores de sulfetos dissolvidos.

O ferro (Fe) e o carbono (C) estão produzindo o mesmo efeito na formação do agrupamento do lado direito do plano das componentes principais (Figura 10). Neste agrupamento, que representa a totalidade das unidades amostrais referentes às folhas de serapilheira, os períodos sazonais não formam agrupamentos bem definidos, estando muito próximos entre si, apontando, portanto, que não há significativa influência da sazonalidade sobre esses resultados. Cabe frisar que os teores de carbono foram consideravelmente elevados tanto nas folhas de serapilheira quanto no solo, indicando uma provável interação entre esses dois (Tabela 5).

Em locais de clima úmido e equatorial, os teores de ferro são mais elevados do que em sedimentos de clima tropical árido. Essa característica pode ser uma resposta aos fortes processos de erosão e lixiviação dos solos das áreas de climas úmidos ou, os acúmulos de matéria orgânica nos solos de regiões úmidas e equatoriais estão favorecendo o transporte do ferro complexado com ácidos fúlvicos (DJUWANSAH, 1990). As condições verificadas nas áreas 1 e 2 sugerem que esses processos podem estar influenciando na elevação dos teores de ferro.

Os teores elevados de carbono nas áreas estudadas sugerem que a principal fonte de carbono é a produção de serapilheira de mangues, responsável pela manutenção de uma grande fonte de alimentos, sob a forma de detritos, para as bactérias e fungos. Mudanças nos fatores ambientais, juntamente com a sazonalidade e fluxo de marés, representam um importante papel na exportação de matéria orgânica lábil e recalcitrante, do continente para o mar, através do estuário (RAY; GHOSH, 2012).

Com base na figura 11, percebe-se que na Área 2, com exceção do Na^+ e K^+ , que são as variáveis que mais explicam a distribuição dos dados de solo na estiagem, todas as outras variáveis (C, S, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe) apresentam uma correlação positiva entre elas e estão fortemente influenciando na distribuição dos dados de folhas de serapilheira, assim como os períodos sazonais explicam mais a formação dos pequenos agrupamentos.

No lado direito do plano das componentes principais, as unidades amostrais mais afastadas do centro representam as folhas de serapilheira do período chuvoso, enquanto que as mais próximas representam as do período de estiagem (Figura 11). Esta distribuição reflete os maiores teores desses nutrientes na estação chuvosa, com exceção do ferro, que foi maior na estação menos chuvosa.

Esse comportamento verificado no manguezal de supramaré, muito provavelmente indica que a presença das águas dos canais de maré, que durante o

período chuvoso atingem uma área maior de inundação em direção ao continente, está contribuindo para o transporte de nutrientes de outros ambientes até o solo do apicum. Além do mais, a presença das águas pluviais e oceânicas ainda favorecem o transporte desses nutrientes do solo até as plantas, resultando em maiores concentrações nas folhas de serapilheira. Essa condição difere da que ocorre no manguezal de intermaré, cujas marés estão constantemente inundando o solo.

No período de estiagem, o solo do manguezal de supramaré passa a ficar mais seco e rígido devido à escassez de água decorrente da evaporação, uma vez que a vegetação reduzida e de pequeno porte deixa o solo mais exposto a este processo, condição verificada principalmente no início do perfil (zona apicum), onde as amostras de serapilheira foram coletadas.

Portanto, essa dinâmica de nutrientes indica uma maior interação entre o solo e as folhas de serapilheira, além de representar a influência da sazonalidade sobre a distribuição dos nutrientes no plano das componentes principais.

Tabela 5- Valores médios de sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), carbono total (C), enxofre total (S), e ferro total (Fe) nas Áreas 1 e 2, durante a época menos chuvosa (estiagem) e chuvosa, em folhas de serapilheira e solo (0-20 cm)

Variável		ÁREA 1		ÁREA 2	
		Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
Na^+ (cmol _c /kg)	Solo (0-20 cm)	516,66	9,01	56,7	3,48
Na^+ (g/kg)	Serapilheira	17,01	7,59	12,85	9,10
K^+ (cmol _c /kg)	Solo (0-20 cm)	156,32	3,88	13,48	0,84
K^+ (g/kg)	Serapilheira	6,98	0,93	5,37	0,95
Ca^{2+} (cmol _c /kg)	Solo (0-20 cm)	3,94	8,45	1,16	2,00
Ca^{2+} (g/kg)	Serapilheira	7,71	8,71	5,18	10,02
Mg^{2+} (cmol _c /kg)	Solo (0-20 cm)	13,50	14,93	2,23	3,00
Mg^{2+} (g/kg)	Serapilheira	4,25	3,87	4,06	4,54
C (g/kg)	Solo (0-20 cm)	36,74	39,12	11,42	14,01
	Serapilheira	331,47	311,90	320,86	431,34
S (g/Kg)	Solo (0-20 cm)	7,57	8,26	1,12	1,37
	Serapilheira	8,52	8,16	9,97	10,94
Fe (g/Kg)	Solo (0-20 cm)	2,25	3,58	0,24	0,62
	Serapilheira	4,55	6,49	4,72	1,20

Fonte: Dados da pesquisa

8 CONCLUSÃO

Os resultados relacionados aos atributos químicos do solo possibilitaram inferir que a sazonalidade climática exerceu maior influência sobre os resultados de Na^+ , K^+ e salinidade intersticial, sobretudo na Área 1, resultante dos processos de evaporação na estação menos chuvosa e de diluição na estação chuvosa, comportamento observado nas duas áreas amostradas.

Foi notável a distinção entre as áreas 1 e 2 com relação aos teores de nutrientes do solo, que apresentaram valores consideravelmente mais elevados no manguezal de intermaré (Área 1).

A formação de alguns agrupamentos não foi muito bem explicada nos gráficos de ACP, possivelmente devido a não inclusão de outros parâmetros que podem estar influenciando nesses resultados, como o potencial redox e a salinidade, que são parâmetros importantes na caracterização de manguezais.

Em geral, houve uma relação na concentração de nutrientes do solo com a concentração de nutrientes das folhas de serapilheira, pois se observou que o aumento ou diminuição no teor dos nutrientes de um, resultou no aumento ou diminuição no teor de nutrientes de outro. Essa condição foi melhor presenciada nas elevadas concentrações de carbono no solo e nas folhas de serapilheira, como também nas condições de elevação no teor de alguns nutrientes (C , S , Ca^{2+} e Mg^{2+}) nas folhas de serapilheira durante o período chuvoso na Área 2, sugerindo a contribuição da água na absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, evidenciando a interação entre o solo e as folhas de serapilheira.

Em manguezais, vários fatores inter-relacionados devem ser levados em consideração para que haja uma melhor compreensão da dinâmica e funcionamento desse ecossistema, dentre eles o regime de marés, a topografia, os processos biogeoquímicos, a sazonalidade climática, a distribuição das chuvas na região e os processos de troca que ocorrem dentro do manguezal e entre este e ecossistemas adjacentes.

Toda essa interação reflete nas características dos manguezais estudados, constituindo ecossistemas diferentes na sua estrutura, composição e dinâmica, resultando em teores de nutrientes do solo consideravelmente mais elevados no manguezal de intermaré (Área 1) e teores mais baixos no manguezal de supramaré

(Área 2), com forte influencia da sazonalidade climática sobre os resultados, principalmente os de solo.

O presente estudo constitui em uma ferramenta de auxílio ao entendimento da dinâmica de nutrientes em manguezais sob variação sazonal da precipitação, a partir do qual é possível compreender melhor como esse ecossistema responde nessas condições e, em um estudo mais aprofundado, inferir como os diferentes manguezais estudados responderiam a longos períodos de chuva ou de estiagem.

REFERÊNCIAS

ADAME, M. F.; LOVELOCK, C. E. Carbon and nutrient exchange of mangrove forests with the coastal ocean. **Hydrobiologia**, v. 663, p. 23-50, 2011.

ALCÂNTARA, B. D. P. **Quantificação e caracterização de matéria orgânica em sedimentos de mangue, visando o estudo geoquímico (Baía de Inajá, São João de Pirabas, NE do Pará)**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2002.

ALONGI, D.M.; TIRENDI, F.; CLOUGH, B.F. Below-ground decomposition of organic matter in forests of mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina* along the Arid Coast of Western Australia. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 68, p. 97-122, 2000.

ALVES, J. R. P. (Org.) **Manguezais: educar para proteger**. Rio de Janeiro: FEMAR: SEMADS, 2001. 96 p.

ANDRIOTTI, J. L. S. Análise de componentes principais: fundamentos de uma técnica de análise de dados multivariada aplicável à dados geológicos. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 20, n. 44, p 27-50, 1997.

ASSUNÇÃO, H. F.; ASSIS, I. C. Construção de uma mini-estação agroclimatológica de baixo custo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia / Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz /USP, 1997. p. 237-239.

BARBOSA, J.H.C.; FARIA S. M. Aporte de serrapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na reserva biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil, **Rodriguésia**, v.57, n.3, p.461-476, 2006.

BERG, B.; MCCLAUGHERTY, C. **Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration**. 2. ed. Berlin : Springer, 2008. 338 p.

BERRÊDO, J. F. **Geoquímica dos sedimentos de manguezais do nordeste do estado do Pará: o exemplo do estuário do rio Marapanim**. 2006. 185 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, 2006.

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, p. 473-482, 2008.

BERRÊDO, J. F.; COSTA, M. L.; VILHENA, M. P. S. P.; SANTOS, J. T. 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.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI Y. Methods for studying mangrove structure. In: SNEDAKER, S.C.; SNEDAKER, J.G. **The mangrove ecosystem: research methods**. Bungay, UK: UNESCO, 1984. 251p.

CORREIA, M. D.; SOVIERZOSKI, H. H. **Ecosistemas marinhos**: recifes, praias e manguezais. Maceió : EDUFAL, 2005. 55p. (Conversando sobre ciências em Alagoas).

CRUZ, C. C. da; **Biogeoquímica dos sedimentos lamosos e sua influência no padrão de distribuição da vegetação, no manguezal de Bragança, NE do Pará**. 2009. xvii, 162 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 2009.

CUNHA-LIGNON, M.; KAMPEL, M.; MENGHINI, R. P.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G.; DAHDOUN-GUEBAS, F. Mangrove forests submitted to depositional processes and salinity variation investigated using satellite images and vegetation structure surveys. **Journal of Coastal Research**, edição especial 64, p. 344-348, 2011.

DJUWANSAH, M. **Mangroves de la zone equatoriale**: etude sedimentologique, mineralogique et geochimique. U.F.R des Sciences de la Vie et de la Terre - Institut de Geologie, These de l'Universite - Universite Louis Pasteur, 1990, 124 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos. 2. ed., 1997. 212 p.

FERNANDES, A. J.; PERIA, L. C. S. Características do ambiente. In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal**: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. p 13-15.

FERNANDES, M. E. B. Produção primária: serapilheira. In: FERNANDES, M. E. B.(Org). **Os manguezais da costa norte brasileira**. Maranhão: Fundação Rio Bacanga, 2003. p. 61-78.

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 de Gestão Costeira Integrada**, número especial 2, Manguezais do Brasil, 2010.

FONSECA, S. de M.; DRUMMOND, J. A. Reflorestamento de manguezais e o valor do resgate para o seqüestro de carbono atmosférico. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 1071-1080, 2003.

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. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 29, 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.

HAY, J.D.; LACERDA, L.D. Ciclagem de nutrientes no ecossistema restinga. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R.; TURQ, B. (orgs.). **Restinga**: origem, estrutura, processos. Niterói: CEUFF, 1984. p.461-477.

HE, B.; DAI, M.; ZHAI, W.; WANG, L.; WANG, K.; CHEN, J.; LIN, J.; HAN, A.; XU, Y. Distribution, degradation and dynamics of dissolved organic carbon and its compound classes in the Pearl River estuary, China. **Marine Chemistry**, v. 119, p. 52–64, 2010.

HERZ, R. **Manguezais do Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1991. 239 p.

KRISTENSEN, E.; ANDERSEN, F.O.; HOLMBOE, N.; HOLMER, M.; THONGTHAM, N. Carbon and nitrogen mineralization in sediments of the Bangrong mangrove area, Phuket, Thailand. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 22, p. 199–213, 2000.

LACERDA, L. D. Manguezais, ecossistemas-chave sob ameaça. **Scientific American Brasil**, São Paulo: Duetto, v.1, n.1, p. 76-82, 2009. (Coleção oceanos - origens, transformações e o futuro).

LACERDA, L. D. Manguezais: florestas à beira-mar. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 13, p. 63-70, 1984.

LACERDA, L. D.; MAIA, L. P.; MONTEIRO, L. H. U.; SOUZA, G. M. ; BEZERRA, L. J. C.; MENEZES, M. O. T.; Manguezais do Nordeste e mudanças ambientais. **Ciência Hoje**, v. 39, n. 229, p. 24-29, 2006.

LACERDA, L.D. Pesquisas brasileiras sobre ciclagem de nutrientes em ecossistemas costeiros: identificação de prioridades. **Acta Limnológica Brasiliensia**, v. 1, p.3-27, 1986.

LEMOS, R. M. (org.). **Manguezais: conhecer para preservar. uma revisão bibliográfica**. Brasília: Ícone Editora e Gráfica, 2011.

MARTORANO, L. G.; PERREIRA, L. C.; CÉZAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. **Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornwhite, Matter)**. Belém: SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, 1993. 53 p.

MENDES, A. C. Geomorfologia e sedimentologia. In: FERNANDES, M. E. B.(Org). **Os manguezais da costa norte brasileira**. Belém: Petrobrás/Fundação Rio Bacanga, 2005. v. 2, p. 13-32.

MENDOZA, U. N.; CRUZ, C. C.; MENEZES, M. P.; LARA, R. J. Flooding effects on phosphorus dynamics in an Amazonian mangrove forest, Northern Brazil. **Plant and Soil**, v. 353, p. 107-121, 2012.

MENEZES, M. P. M de.; MEHLIG, U. Manguezais: as florestas da Amazônia Costeira. Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará (Campus de Bragança). **Ciência Hoje**, v. 44, n. 264, p. 34-39, 2009.

MIGUENS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte**. Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1996. (Navegação eletrônica em condições especiais, v.3.).

- MOLION, L. C. B.; DALLAROSA, R. L. G. Pluviometria da Amazônia: são os dados confiáveis? **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 5, n. 3, p. 40-42, 1990.
- MORAES, B. C. de; COSTA, A. C. L. da. Variações sazonais de parâmetros meteorológicos em ecossistemas de manguezais no município de Bragança-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-6b5d84109a9f9270698dd90bd0ac098c.pdf>>. Acesso em 10.11.12.
- MUKHERJEE, J.; RAY, S.; GHOSH, P. B. A system dynamic modeling of carbon cycle from mangrove litter to the adjacent Hooghly estuary, India. **Ecological Modelling**, v. 252, p. 185-195, 2013.
- PALANISAMY, S.; KHAN, A. B. Seasonal variations in physico-chemical parameters of water and sediment characteristics of Pondicherry Mangroves. **African Journal of Basic & Applied Sciences**, v. 1, p. 36-43, 2009.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soil. **Advances in Agronomy**, New York, v. 24, p. 29-96, 1972.
- PROCTOR, J. Tropical forest litterfall I - problems of data comparison. In: SUTTON, S.L.; CHADWICK, A.C.; WHITMORE, T.C. (Eds.). **Tropical rainforest: ecology on management**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983. p. 267-273.
- RAMOS, S. **Manguezais da Bahia: breves considerações**. Ilhéus: Editus, 2002. 103 p.
- RIBEIRO, J. B. M. **Micrometeorologia do manguezal e o impacto do desmatamento em Bragança-PA**. 2001. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- SAINT-PAUL, U.; SCHNEIDER, H. The need for a holistic approach in mangrove research and management. In: SAINT-PAUL, U.; SCHNEIDER, H. (Eds.). **Mangrove dynamics and management in North Brazil**. Ecological Studies. Heidelberg; New York: Springer Verlag, 2010. (Ecological Studies, v. 211) Cap. 1, p. Disponível em: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-13457-9_1#page-1>. Acesso em: 10.12.11.
- SANT' ANNA, E. M.; WHATELY, M. H. Distribuição dos manguezais do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 43, p. 47-63, 1981.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. 64 p.
- SHAN, L.; RENCHAO, Z.; SUISUI, D.; SUHUA, S. Adaptation to salinity in mangroves: implication on the evolution of salt-tolerance. **Chinese Science Bulletin**, v. 53, n 11, p. 1708-1715, 2008.

SILVA JÚNIOR, J.A.; COSTA, R. F.; COSTA, A.C.L.; GONÇALVES, P.H.L.; BRAGA, A.P.; MALHI, Y. S.; ARAGÃO, L.E.O.C.; COSTA, M.C.; MEIR P. Sazonalidade de elementos meteorológicos em ecossistema de manguezal na região equatorial, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3, p. 241-247, 2006.

SILVA, R. M.; COSTA, J. M. N.; RUIVO, M. L. P.; COSTA, A. C. L.; ALMEIDA, S.S. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 3, p.573 – 582, 2009.

SILVA, S. B. **Análise de solos**. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2003. (Serviço e Documentação e Informação).

TOGNELLA, M. M. P. Valor ecológico e sócio-econômico. In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal**: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. p. 43-47.

TURENNE, J. F. **L'Écosystème mangrove – continuité et discontinuité**. 3. ed. Caiena: Reunion Ecolab, 1997.

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

YAHYA, A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 7, p. 1439-1451, 1998.