



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

HYAGO ELIAS NASCIMENTO SOUZA

**A INFLUÊNCIA DA DINÂMICA ATMOSFÉRICA NA PRODUÇÃO DE  
SERAPILHEIRA EM UM MANGUEZAL DA COSTA AMAZÔNICA**

Belém - PA

2019

HYAGO ELIAS NASCIMENTO SOUZA

**INFLUÊNCIA DA DINÂMICA ATMOSFÉRICA NA PRODUÇÃO DE  
SERAPILHEIRA EM UM MANGUEZAL DA COSTA AMAZÔNICA**

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/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Clima e Dinâmica Sócio-Ambiental na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócio-Ambiental.

Orientadora: Dra. Maria Isabel Vitorino

Coorientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

Belém - PA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S719i Souza, Hyago Elias Nascimento  
A influência da dinâmica atmosférica na produção de serapilheira  
em um manguezal da costa amazônica / Hyago Elias Nascimento  
Souza. — 2019.  
69 f. : il. color.
- Orientador(a): Profª. Dra. Maria Isabel Vitorino  
Coorientador(a): Prof. Dr. Steel Silva Vasconcelos  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,  
Belém, 2019.
1. Manguezal. 2. Serapilheira. 3. Precipitação pluvial.  
4. Vento. 5. Costa amazônica. I. Título.

CDD 577.698

---

**HYAGO ELIAS NASCIMENTO SOUZA**

**A INFLUÊNCIA DA DINÂMICA ATMOSFÉRICA NA PRODUÇÃO DE  
SERAPILHEIRA EM UM MANGUEZAL DA COSTA AMAZÔNICA.**

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

Área de concentração: Clima e Dinâmica Sócio-Ambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Socio-Ambiental.

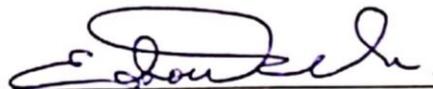
Data de aprovação: 19 / 02 / 2019

Banca Examinadora:



---

Dra. Maria Isabel Vitorino – Orientadora  
Doutora em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará – UFPA



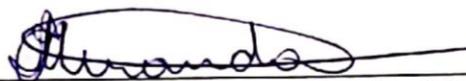
---

Dr. Edson José Paulino da Rocha – Membro Interno  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará – UFPA



---

Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo – Membro Interno  
Doutora em Agronomia  
Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG



---

Dra. Izildinha de Souza Miranda – Membro Externo  
Doutora em Ciências Biológicas  
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo investigar a influência da dinâmica atmosférica na produção de serapilheira no manguezal de Cuiarana, Salinópolis, Costa Amazônica. Foi analisado a variação pluviométrica sazonal juntamente aos sistemas precipitantes sobre a costa amazônica e sua influência na variabilidade da produção de serapilheira. Também foi caracterizada a variação temporal da direção e velocidade do vento e sua influência na produção espaço-temporal de serapilheira. Em uma floresta de mangue foram delimitadas 3 parcelas amostrais apresentando 3 espécies de mangue *Rizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*. Em cada parcela foi instalado aleatoriamente 4 coletores de serapilheira de 1 m<sup>2</sup>. Dados meteorológicos foram obtidos a partir da Torre Micrometeorológica da UFRA localizada na área de estudo. As principais metodologias estatísticas usadas foram *two-way* e *one-way* ANOVA, análise de regressão linear ( $p < 0,05$ ) e Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP). Os resultados mostram que a variação temporal da precipitação é modulada por diferentes sistemas meteorológicos, onde os meses de março, abril e maio apresenta-se como trimestre mais chuvoso da região. A distribuição anual de direção do vento mostrou predominância no setor leste (E), frequência de ventos com maior velocidade foram registrados no segundo semestre. Na produção de serapilheira houve diferença significativa entre os valores de produção mensal e entre as frações. A produção total anual de serapilheira foi de  $9,4 \pm 0,06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , onde 67% foi composta pela fração folha. Folhas tiveram tendências negativas com a precipitação, porém lenhoso e material reprodutivo tiveram tendências positivas. A ACP mostra em 4 componentes correlação negativa com material reprodutivo e correlação positiva com lenhoso associado à variação temporal de ventos e de precipitação pluvial.

Palavras-chave: Manguezal. Serapilheira. Precipitação pluvial. Vento. Costa Amazônica.

## ABSTRACT

This work aimed to investigate the influence of atmospheric dynamics on litterfall production in the Cuiarana mangrove, Salinópolis, Amazon Coast. The seasonal rainfall variation was analyzed along with the precipitating systems on the Amazon coast and its influence on the variability of litterfall production. It was also characterized the temporal variation of the direction and speed of the wind and its influence on the spatiotemporal production of litterfall. In a mangrove forest, 3 sample plots were delineated with 3 mangrove species *Rizophora mangle*, *Avicennia germinans* and *Laguncularia racemosa*. In each plot, 4 traps 1 m<sup>2</sup> were randomly installed. Meteorological data were obtained from the Micrometeorological Tower of the UFRA located in the study area. The main statistical methodologies used were two-way and one-way ANOVA, linear regression analysis ( $p < 0.05$ ) and Principal Components Analysis (PCA). The results show that the temporal variation of precipitation is modulated by different meteorological systems, where the months of March, April and May appear as the region's rainiest quarter. The annual distribution of wind direction showed predominance in the eastern (E), frequency of winds with higher velocity were recorded in the second semester. In the litterfall production there was a significant difference between the values of monthly production and between the fractions. The annual total litter production was  $9.4 \pm 0.06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , where 67% was composed by the leaf fraction. Leaves had negative trends with precipitation, but woody and reproductive material had positive trends. The ACP shows in 4 components negative correlation with reproductive material and positive correlation with wood associated with the temporal variation of winds and rainfall.

Keywords: Mangrove. Litterfall. Rainfall. Wind. Amazon Coast.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa de localização da área de estudo no Sítio Experimental de Cuiarana, Costa Amazônica.....28
- Figura 2- Anomalia de precipitação (mm) entre os anos de 1998 a 2016 na região de Cuiarana, Costa Amazônica..... 31
- Figura 3- Anomalia de precipitação - PRP (mm), Índice de Oscilação Sul - IOS e Modo Meridional do Atlântico – MMA durante o período de coleta de serapilheira (agosto de 2017 a julho de 2018) no manguezal do Sitio Experimental de Cuiarana.....32
- Figura 4- Produção anual de serapilheira da fração folha por espécie (A); Produção anual de serapilheira da fração folha total, lenhoso e material reprodutivo (flor, fruto + estípula) + miscelânea (B). Dados médios e  $\pm$  erro padrão (n = 12).....34
- Figura 5- Acumulado mensal de precipitação (mm) para o Sitio Experimental de Cuiarana (A); Variabilidade de serapilheira ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$ ) da fração folha por espécies (B); Variabilidade de serapilheira ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$ ) da fração folha total, lenhoso, material reprodutivo (flor, fruto + estípula) e miscelânea (C). Produção de serapilheira são dados médios  $\pm$  erro padrão.....36
- Figura 6- Correlação entre a produção dos componentes de serapilheira ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$ ) folha de *R mangle*, folha de *A. germinans*, folha de *L. racemosa*, folha total, lenhoso e material reprodutivo (flor, fruto + estípula) e as taxas de precipitação (mm) no Sitio Experimental de Cuiarana.....37
- Figura 7- Localização da Área de estudo no manguezal de Cuiarana, Salinópolis.....45
- Figura 8- Rosa dos ventos demonstrando a direção e frequência dos ventos durante o período de agosto de 2017 a julho de 2018 em Cuiarana.....48
- Figura 9- Padrões de correlação da primeira componente (CP1) com 39 % da variância total explicada e produção de serapilheira (fração material reprodutivo) das parcelas A, B e C.....52
- Figura 10- Padrões de correlação da segunda componente (CP2) com 19 % da variância total explicada e produção de serapilheira (fração lenhoso) das parcelas A, B e C.....53

Figura 11- Padrões de correlação da terceira componente (CP3) com 17 % da variância total explicada e produção de serapilheira (fração folha) das parcelas A, B e C.....54

Figura 12- Padrões de correlação da quarta componente (CP4) com 12 % da variância total explicada e produção de serapilheira das parcelas A, B e C.....55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Variação sazonal da precipitação pluviométrica entre dezembro de 1998 e novembro de 2016 na região de Cuiarana, Costa Amazônica.....	31
Tabela 2- Variação temporal das frações de serapilheira Folha (total das 3 espécies), Lenhoso, M. Reprodutivo (flor, fruto + estípula) e Miscelânea no manguezal de Cuiarana, Costa amazônica. Dados médios e $\pm$ erro padrão (n = 3).....	33
Tabela 3- Produção de serapilheira ( $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) e precipitação média anual (mm) em manguezais.....	34
Tabela 4- Distribuição mensal da frequência de vento em diferentes classes durante o período de estudo.....	47
Tabela 5- Dados estruturais das parcelas estudadas.....	50
Tabela 6- Produção mensal de serapilheira em frações (folha, lenhoso e material reprodutivo) e total. Dados médios $\pm$ erro padrão (n = 4).....	50

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	10
1.1	<b>Ecologia de manguezal</b> .....	11
1.1.1	Biogeografia dos manguezais.....	11
1.1.2	Diversidade dos Manguezais no Brasil.....	13
1.2	<b>Manguezal e a produção de serapilheira</b> .....	15
1.2.1	Serapilheira e a ciclagem de nutrientes.....	16
1.2.2	Fatores que influenciam na produção de serapilheira.....	18
1.3	<b>Dinâmica atmosférica e os manguezais da Amazônia</b> .....	19
1.3.1	Sistemas atmosféricos na costa amazônica.....	19
1.3.2	Variáveis meteorológicas e a produção de serapilheira.....	22
1.4	<b>Objetivos da pesquisa</b> .....	23
1.5	<b>Estrutura da tese</b> .....	24
2	<b>PRECIPITAÇÃO PLUVIAL ASSOCIADA À PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA EM UM MANGUEZAL DA COSTA AMAZÔNICA</b> .....	25
3	<b>VARIAÇÃO TEMPORAL DO VENTO E SUA INTERAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA EM MANGUEZAL DA AMAZÔNIA</b> .....	42
4	<b>CONCLUSÃO GERAL</b> .....	60
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	63

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As ciências ambientais estão se tornando cada vez mais estudadas a fim de compreender as diferentes interações bióticas e abióticas nos ecossistemas. Esse contexto ainda engloba as ciências sociais que fazem parte das interações socioambientais e que tem sido destaque no cenário atual. Essa interdisciplinaridade utilizada para investigar as ciências ambientais tem atraído pesquisadores de diversas áreas mesclando seus conhecimentos e gerando produtos que tem colaborado significativamente para o desenvolvimento científico.

Nesse sentido, a investigação das interações biosfera-atmosfera tem se destacado dentro das ciências ambientais. A proposta de estudos climáticos e seus reflexos no ambiente tem apresentado resultados relevantes na compreensão das mudanças climáticas, eventos extremos e adaptações dos ecossistemas a essas condições.

Em uma visão ecológica, será que a fenologia das espécies vegetais é adaptada aos sistemas meteorológicos atuantes na região? Ou será que o clima é modulado pelas características da superfície? Estes questionamentos são cada vez mais estudados na compreensão dessas interações e seus reflexos nos processos ecossistêmicos.

Os manguezais da costa amazônica ainda são pouco conhecidos em caráter científico, no entanto, é indiscutível a importância desse ecossistema dentro do contexto interdisciplinar. Buscar compreender a interação desse ambiente com os sistemas atmosféricos da região amazônica torna mais rica a interpretação dos seus processos ecológicos.

Diante disso, estudos tem buscado compreender a interação solo e mangue, mangue e fauna, solo e regime de marés e mais atualmente clima e mangue. A interação clima e mangue objetiva analisar a influência que os sistemas meteorológicos tem sobre os processos ecossistêmicos do manguezal. Essa visão interdisciplinar abre um leque de interpretações que contribui na elaboração de propostas da preservação do ecossistema, no uso de recursos naturais e no conhecimento detalhado das interações.

Nesse contexto, esse capítulo faz uma revisão sobre os manguezais e sua importância ecológica, descreve sobre os sistemas meteorológicos atuantes na região costeira da Amazônia e discute a interação da serapilheira do mangue com diferentes variáveis climáticas.

## 1.1 Ecologia de manguezal

Este primeiro tópico relata sobre a distribuição dos manguezais ao redor do mundo, comenta sobre sua importância no meio ambiente e demonstra sua diversidade ecológica e socioambiental.

### 1.1.1 Biogeografia dos manguezais

O manguezal é um ecossistema que comumente ocorre em regiões entre marés na faixa tropical e subtropical do planeta. Encontrados desde a região do Indo-pacífico até o Caribe, esse ecossistema se desenvolve em áreas de transição com interação entre o ambiente terrestre e marinho (UKPONG, 1994; ELLISON *et al.*, 1999).

Registros paleontológicos consideram que os manguezais tiveram sua origem na região Indo-pacífica e a partir dos movimentos de massas continentais, eles se espalharam pelo planeta atravessando o continente africano até chegarem na região do Caribe e se dispersarem pelas Américas (PLAZIAT *et al.*, 2001).

Sua distribuição geográfica é caracterizada pelo regime de marés apresentando-se desde o nível do mar até a maré mais alta. As características ambientais que regem esse ecossistema envolvem além desse regime de marés, uma alta salinidade, temperaturas médias elevadas e solo sob condições anaeróbicas (ALONGI, 2009; BERREDO *et al.*, 2008).

Diante desse cenário, os manguezais são dominados por algumas espécies florísticas e faunísticas adaptadas fisiologicamente e morfológicamente para se desenvolverem nesse ambiente de transição, apresentando diferentes espécies pelos manguezais ao redor do planeta (ELLISON, 2008).

Estima-se que existam mais de 152 mil km<sup>2</sup> de manguezais pelo mundo (COSTA *et al.*, 2016). A Indonésia apresenta a maior área em seu território com aproximadamente 22,6 % da área total de manguezais. Já o Brasil apresenta a segunda maior área em torno de 7 % do total mundial. Outros países como Austrália, México, Nigéria e Malásia também apresentam grandes áreas de manguezais demonstrando a ampla distribuição geográfica que esse ecossistema tem pelos continentes (GIRI *et al.*, 2011).

Países como Bangladesh, Índia, Paquistão e Sri Lanka no sul da Ásia representam juntos em média 7 % do total global. Já países insulares como Malásia e Filipinas que são formados por diversas ilhas somam em torno de 5,6 % e, aliados à líder Indonésia e os demais países da Ásia e Oceania tornam a região Indo-pacífica a maior área de manguezais do

planeta. (ASHTON; MACINTOSH, 2002; GIRI *et al.*, 2015; GIRI *et al.*, 2011; PRIMAVERA, 2000).

Os manguezais ocupam uma área significativa no continente africano. Países como Moçambique e Madagascar na costa leste representam juntos 4,3 % da área total de manguezais no mundo. Já na costa oeste, Guiné Bissau e Nigéria somam 7,2 % desse total (GIRI *et al.*, 2011; SHAPIRO *et al.*, 2015; UKPONG, 1994). Próximo à África, os manguezais também são encontrados no Oriente Médio, principalmente as margens do Mar Vermelho na Arábia Saudita (KUMAR *et al.*, 2010).

Nas Américas, os manguezais são distribuídos em todos os países costeiros com exceção do Canadá na América do Norte e do Chile, Argentina e Uruguai na América do Sul (LACERDA, 1993). Dentre os países insulares da região Caribenha, Cuba se expressa com a maior distribuição de manguezais em seu território com 3,1 % do total global. Já dentre os países continentais desta mesma região, o México possui maior distribuição com 5,4 % somando sua área costeira no Caribe e no Pacífico (FLORES-VERDUGO *et al.*, 1992; GIRI *et al.*, 2011).

Na América do Sul, o Brasil representa a segunda maior área de manguezais do mundo (COSTA *et al.*, 2016; LACERDA, 1993; SOUZA FILHO, 2005). Eles se distribuem pela costa brasileira deste o estado do Amapá no norte do país até o estado de Santa Catarina no sul, cobrindo uma área de aproximadamente 13 mil km<sup>2</sup> (COSTA *et al.*, 2016).

O BRASIL (2018), distribui os manguezais pela costa brasileira em seis setores distintos: o Litoral Equatorial Amazônico, Litoral Setentrional do Nordeste, Litoral Oriental do Nordeste, Litoral Leste, Litoral Sudeste e Litoral Sul. No Litoral Equatorial Amazônico, são encontrados manguezais desde o Parque Nacional do Cabo Orange no Amapá, passando pela ilha do Marajó no Pará, chegando até o Golfão Maranhense no Maranhão.

Ainda de acordo o Atlas, entre o Parque Nacional do Cabo Orange e a região do Golfão Marajoara os manguezais são observados em um mosaico que se mistura à vegetação de floresta de várzeas e terra firmes. Esse cenário é influenciado principalmente pela descarga de água doce proveniente do rio Amazonas nesta região. No entanto, entre as cidades de Belém do Pará e São Luiz do Maranhão, a área costeira é extremamente recortada e instável, conhecidas como reentrâncias maranhenses ou rias, que apresentam condições geológicas, meteorológicas e oceanográficas adequadas para o estabelecimento e desenvolvimento dos manguezais.

Na região de São Luís (MA) os manguezais são encontrados principalmente no Golfão Maranhense, formado pela ilha de São Luís e as baías de São Marcos e São José de Ribamar.

A soma dos manguezais desse Golfão com as rias do Pará e do Maranhão constituem a maior área contínua desse ecossistema no mundo com aproximadamente 7.500 km<sup>2</sup> conhecida como Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia – CMMA (SOUZA FILHO, 2005).

Fica evidente, diante desse cenário de distribuição dos manguezais ao redor do planeta, que esse ecossistema tem significativa relevância ecológica e que além do entendimento de sua biogeografia é importante compreender sua diversidade de espécies e suas funções no ecossistema (LIMA; TOGNELLA, 2012).

### 1.1.2 Diversidade dos Manguezais no Brasil

Os manguezais da região do Caribe apresentam menor diversidade de espécies de mangue se comparados a região Indo-pacífica (LACERDA, 1993; REEF *et al.*, 2014). Comparados as florestas tropicais de terra firme, os manguezais apresentam pouca diversidade de espécies, porém, esse ecossistema é considerado um dos mais produtivos do mundo (LIMA; TOGNELLA, 2012; VANNUCCI, 2003).

O termo manguezal ou mangal é utilizado para descrever o ecossistema, ou seja, um ambiente físico em que ocorre interações entre as espécies. Já o termo mangue é utilizado para designar a vegetação típica que se desenvolve no manguezal (LIMA; TOGNELLA, 2012; ROSS *et al.*, 2001; SATYANARAYANA *et al.*, 2009; VANNUCCI, 2003).

O BRASIL (2018), descreve as feições do ecossistema manguezal ao longo da faixa entremarés onde esse ecossistema é encontrado. A feição lavado caracteriza-se pelo contato direto com o estuário ou águas costeiras, correspondendo ao banco de solo e sedimento exposto somente por ocasiões de baixas marés (marés de sizígia). Muitos lavados podem ser colonizados por gramíneas, comumente pertencentes ao gênero *Spartina* (capim-praturá).

Outra feição que o mesmo Atlas descreve é o apicum, considerado a porção mais interna do ecossistema é caracterizado como uma planície hipersalina, com textura arenolamosa e rica em nutrientes, sendo inundada somente em marés de sizígia. Suas condições extremas dificultam o desenvolvimento da vegetação vascular típica do manguezal, porém algumas espécies herbáceas são adaptadas a esta feição como *Sesuvium portulacastrum* e *Eleocharis mutata*. Além disso, microalgas (cianofíceas e diatomáceas) e crustáceos (*Sesarma* sp., *Chasmagnatus* sp., *Uca* spp, *Ucides cordatus*) são encontrados nesta feição.

O Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.727, de 2012), no seu Art. 4 considera os manguezais em toda sua extensão como Áreas de Preservação Permanente - APP, porém o mesmo Código não considera os apicuns como APP. Eles são considerados áreas de uso

ecologicamente sustentável, por isso podem ser utilizados em atividades de carcinicultura e salinas, observando requisitos descritos no próprio Código.

A última feição citada pelo BRASIL (2018) é a floresta de mangue caracterizado pelas espécies arbóreas do manguezal. Na costa brasileira, 6 espécies pertencentes a 3 gêneros são encontradas nos manguezais: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii* e *Rhizophora racemosa* pertencentes ao gênero *Rhizophora*; as espécies *Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans* pertencem ao gênero *Avicennia* e a *Laguncularia racemosa*, gênero com uma única espécie.

No Litoral Equatorial Amazônico três espécies são consideradas predominantes. São elas a *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Avicennia germinans* (mangue preto) e *Laguncularia racemosa* (mangue branco) pertencentes, respectivamente, as famílias Rhizophoraceae, Acanthaceae e Combretaceae (ABREU *et al.*, 2006; BASTOS; LOBATO *et al.*, 2009; MATNI *et al.*, 2006; SALES *et al.*, 2009; SEIXAS *et al.*, 2006; VANNUCCI, 2003).

De acordo com o BRASIL (2018) o termo “mangle” foi dado a espécie *Rhizophora mangle* pelos indígenas das tribos Arawak. Já o termo “avicennia” foi dado as espécies do gênero *Avicennia spp.* em honra à Avicenna, médico persa do século X. Por fim, o termo “Laguncularia” da espécie *Laguncularia racemosa* vem da semelhança que os frutos dessa espécie tinha com a lagúncula, um tipo de vaso em formato de ânfora utilizado pelos antigos romanos.

Essas espécies predominantes no manguezal formam juntas as florestas de mangue. Quando se leva em consideração suas características fisiográficas e fisionômicas essas florestas podem ser classificadas em 5 tipos: floresta de franja ou borda, florestas ribeirinhas, *overwash*, florestas de bacias e floresta anã. A diferença de estruturas entre esses tipos de florestas está associado à altura de suas copas e a sua biomassa, onde as florestas de franja são consideradas as florestas que ficam nas margens ou bordas dos canais de marés ou em contato direto com o mar. (ROSS *et al.*, 2001).

Já ao levar em consideração as características do solo das florestas de mangue, alguns aspectos devem ser observados. O manguezal apresenta um substrato lodoso, pouco consolidado e com baixas concentrações de oxigênio (quase anóxicos) e essas condições influenciam nas adaptações das espécies vegetais nesse ambiente (BERREDO *et al.*, 2008; LIMA; TOGNELLA, 2012).

Diante disso, algumas espécies possuem rizóforos e raízes adventícias (raízes-escora). Outras possuem pneumatóforos, raízes com geotropismo negativo crescendo no sentido

oposto à força da gravidade. Essas estruturas radiculares contribuem para que essas espécies arbóreas possam se estabilizar no sedimento pouco consolidado desse ecossistema. Essas características contribuem também para aprisionar o sedimento entre as raízes e troncos evitando que a energia das ondas transporte esse sedimento, além de colaborar no aporte e imobilização de nutrientes. (COSTA *et al.*, 2016; LIMA; TOGNELLA, 2012; CUZZUOL; ROCHA, 2012).

Além da flora encontrada nos manguezais do Brasil, esse ecossistema também apresenta uma variedade de espécies faunísticas. Ao contrário das espécies vegetais, a fauna do manguezal não é exclusiva desse ecossistema. Muitos organismos que são encontrados nesse ambiente podem sobreviver em outros habitats costeiros como estuários, restingas e praias, o que diversifica ainda mais o ecossistema (KATHIRESAN; BINGHAM, 2001).

De acordo com o BRASIL (2018) a fauna encontrada no manguezal pode ser classificada como: animais de vida livre que podem se locomover a médias e longas distâncias explorando outros habitats (garças e guaxinins); animais sésseis que vivem fixos a superfície do substrato ou a outro organismo (ostras e sururus); animais arborícolas que se locomovem pelos troncos e galhos das árvores (macacos e aratus); animais rastejadores que se locomovem lentamente sobre o sedimento do manguezal (poliquetas e caramujo-do-mangue); e os animais escavadores que vivem em galerias ou enterrados no sedimento (caranguejos).

Além dessa diversidade ecológica encontrada no manguezal, observa-se também uma rica diversidade cultural dos povos que dependem desse ecossistema para subsistência (LIMA; TOGNELLA, 2012). Diferentes formas de manejo e uso dos recursos naturais são utilizados ao longo dos manguezais do Brasil e esses usos geram diferentes conhecimentos tradicionais, mitos e até lendas regionais que são repassados através das gerações de diferentes comunidades (LOBATO *et al.*, 2014; MATTOS *et al.*, 2012).

## **1.2 Manguezal e a produção de serapilheira**

No tópico anterior foi visto de forma geral a ecologia de manguezal, já neste tópico discutiremos mais especificamente a produção de serapilheira e sua importância na ciclagem de nutrientes do ecossistema e alguns fatores ambientais que influenciam nessa produção ao longo do tempo.

### 1.2.1 Serapilheira e a ciclagem de nutrientes

As florestas de mangue apresentam poucas espécies arbóreas na costa brasileira, porém sua elevada produtividade é comparada as florestas tropicais de terra firme (LIMA; TOGNELLA, 2012; VANNUCCI, 2003; WILSON; HOWARTH, 2002). As espécies arbóreas fazem parte de um complexo sistema de ciclagem de nutrientes que através da produção de serapilheira fornecem ao ecossistema nutrientes fundamentais para sua manutenção (FERNANDES *et al.*, 2007; NASCIMENTO *et al.*, 2015).

A serapilheira é todo material vegetal e animal que é depositado (*litterfall*) e acumulado (*litter*) sobre o sedimento ou solo das florestas, constituído geralmente por material decíduo, como folhas, ramos, caule, cascas, flores, frutos, sementes e miscelânea (material não identificado), além de animais mortos e fezes (FERNANDES *et al.*, 2007; GOLLEY, 1983; SILVA *et al.*, 2011). Em manguezais, o acúmulo de serapilheira no solo é interrompido por conta do regime de marés que promove a dispersão desse material pelo ambiente (CUZZUOL; ROCHA, 2012).

A ciclagem de nutrientes, por meio da produção de serapilheira em manguezais, é um aspecto importante a ser estudado, pois contribui para o entendimento da estrutura e do funcionamento desse ecossistema (VIERA; SCHUMACHER, 2010). Os nutrientes que são transferidos ao solo do manguezal podem interferir na sua capacidade produtiva, pois esses nutrientes resultantes da produção e posteriormente decomposição da serapilheira modificam as características químicas e físicas do solo (BARBOSA *et al.*, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2015; VIERA; SCHUMACHER, 2010).

Os nutrientes e suas concentrações encontrados na serapilheira variam de acordo com as características do ambiente, como o tipo de solo, a capacidade das espécies vegetais em absorver e utilizar nutrientes, idade das árvores e das condições meteorológicas que atuam sobre o ecossistema. Cada espécie, ou grupo de espécies, possui formas específicas de produção e deposição de serapilheira e nutrientes no ecossistema (SAVIAN MARAFIGA *et al.*, 2012). Em manguezais essas formas tornam-se ainda mais complexa por conta da alta dinâmica que ocorre nas regiões costeiras (ALONGI, 2002).

As frações ou compartimentos que constituem a serapilheira, como folhas, galhos e material reprodutivo, possuem diferentes substâncias químicas em sua composição (LAANBROEK *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2011). Em florestas de mangue, geralmente a serapilheira é composta principalmente pela fração folha que desempenham um papel

fundamental na ciclagem de nutrientes e também na herbivoria da fauna do manguezal (FERNANDES *et al.*, 2007; NASCIMENTO *et al.*, 2015; SANTOS, 2011).

A observação de cada fração da serapilheira e também das diferentes espécies de mangue contribui no entendimento de cada uma dessas frações na ciclagem de nutrientes. Alguns estudos mostram que as folhas da espécie *A. germinans* apresenta maiores teores de nitrogênio, potássio e magnésio comparados as espécies *R. mangle* e *L. racemosa*. Em contrapartida a espécie *L. racemosa* apresenta altos teores de fósforo e ferro. As folhas da espécie *R. mangle* são caracterizadas por apresentarem baixos teores de nitrogênio e altos teores de lignina, além de serem ricas em taninos. (BERNINI *et al.*, 2006; CUZZUOL; ROCHA, 2012; LAANBROEK *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Essa composição química distinta para as folhas das diferentes espécies de mangue contribui para diferentes formas e tempos de decomposição da serapilheira. Além disso o ataque pela fauna herbívora do manguezal também é influenciado por esta composição química foliar, sendo *A. germinans* a espécie mais consumida pelos herbívoros. (CUZZUOL; ROCHA, 2012; SANTOS, 2011). Cabe ressaltar, que o nitrogênio é o principal nutriente limitante em muitos manguezais e estratégias de reabsorção desse nutriente são desenvolvidas pelo mangue para se adaptarem a esta limitação (LAANBROEK *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2010).

Na costa da Amazônia, os manguezais estão sujeitos a dinâmica de macromarés e a um regime pluviométrico bem característico da região (SOUZA FILHO, 2005). Essa dinâmica possui significativa contribuição na ciclagem de nutrientes, onde a variação de concentrações são susceptíveis à influência do regime hídrico. Além disso, macronutrientes como Magnésio, Cálcio e Potássio podem chegar ao sistema do manguezal pelas marés (CUZZUOL; ROCHA, 2012; NOVA, 2018).

Dentro desse sistema de ciclagem de nutrientes, outro elemento fundamental deve ser destacado na composição da biomassa da serapilheira, o carbono. As florestas de mangue além de serem consideradas uma das mais produtivas, também são consideradas florestas ricas em carbono quando comparadas a florestas tropicais de terra firme (DONATO *et al.*, 2011)

Essa alta produtividade de biomassa dos manguezais tem atraído diversas pesquisas ao redor do mundo com o objetivo de compreender e estimar o aporte de carbono dos diversos compartimentos do ecossistema manguezal como solo, biomassa acima e abaixo do solo e serapilheira (CHAVE *et al.*, 2005; COMLEY; MCGUINNESS, 2005; KOMIYAMA, 2008;

MENEZES *et al.*, 2008; ROOS *et al.*, 2001; SHERMAN *et al.*, 2003; SOARES; SCHAEFFER-NOVELLI, 2005).

Fica evidente a importância da serapilheira na ciclagem de nutrientes do manguezal e aprofundar esse conhecimento é cada vez mais necessário para compreender melhor sua produtividade e garantir os serviços ecossistêmicos desse ambiente. Diante disso, conhecer os fatores que influenciam na produção de serapilheira dos manguezais amazônicos é fundamental para compreender as variações de produção ao longo do tempo (FERNANDES *et al.*, 2007; MENEZES *et al.*, 2008).

### **1.2.2 Fatores que influenciam na produção de serapilheira**

A produção de serapilheira sofre variações ao longo do tempo (FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006; ROOS *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2011). A observação da produção durante um ciclo anual permite relacionar essa variação com alguns fatores que interagem com o mangue no ecossistema. Alguns fatores são considerados principais nessa interação: a fenologia do mangue, regime de marés, salinidade e a dinâmica atmosférica atuante na região (CARVALHO, 2002; LIMA, TOGNELLA, 2012).

Fenologicamente, o mangue possui uma alta produção de serapilheira ao longo do ano. Alguns estudos observaram que a produção de flores e frutos pode ocorrer durante todo o ano para as três principais espécies da costa amazônica *A. germinans*, *R. mangle* e *L. racemosa*. No entanto, o maior período de floração foi observado no segundo semestre e o maior período de frutificação foi observado no primeiro semestre (CARVALHO, 2002; FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006).

Estudos observaram também que a produção da fração folha da serapilheira pode estar relacionada com a salinidade e o regime das marés. Em épocas do ano em que a salinidade aumenta, as espécies de mangue possuem um maior custo energético para manter seus 39 tecidos fotossintéticos, causando assim a abscisão das suas folhas. Diante disso, observa-se maiores produções da fração folha sob essas condições de salinidade (CARVALHO, 2002; FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006).

Por fim, a dinâmica atmosférica que atua sobre a região costeira da Amazônia tem significativa influência na produção de serapilheira bem como em todos os serviços ecossistêmicos oferecidos pelo manguezal uma vez que as condições meteorológicas de precipitação, temperatura, ventos e etc. modulam esse ecossistema. Diante disso, é necessário

entender quais sistemas atmosféricos atuam nessa região e quais suas influências no ecossistema de manguezal com ênfase na produção de serapilheira.

### 1.3 DINÂMICA ATMOSFÉRICA E OS MANGUEZAIS DA AMAZÔNIA

Após a discussão sobre o ecossistema de manguezal, seus serviços ecossistêmicos, produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes, este tópico faz uma breve descrição sobre os principais sistemas atmosféricos que atuam na região costeira da Amazônia e as implicações das variáveis meteorológicas na produção de serapilheira do manguezal.

#### 1.3.1 Sistemas atmosféricos na costa amazônica

Para entender como ocorre a dinâmica atmosférica de qualquer região, deve-se primeiramente observar suas diferentes escalas. Na meteorologia, duas escalas são fundamentais para estudar a dinâmica atmosférica: a escala temporal e escala espacial. Orlanski (1975) desenvolveu uma classificação e divisão dessas escalas de acordo com a atuação dos sistemas atmosféricos no tempo e espaço. Essa divisão de escalas de Orlanski (1975) é utilizada até os dias atuais tanto em pesquisas meteorológicas quanto em pesquisas interdisciplinares que envolvem a interação atmosfera-biosfera.

Neste contexto, 4 escalas são apresentadas: Escala Global, Escala Sinótica, Mesoescala e Microescala. A escala Global e a escala Sinótica apresentam uma abrangência global com maior tempo de duração podendo se entender em até 3 meses. Um exemplo que ocorre na região costeira da Amazônia é a Zona de Convergência Intertropical. A Mesoescala apresenta uma abrangência regional e uma menor duração de tempo que pode chegar até 24 horas. Os Sistemas Convectivos de Mesoescala – SCM são um exemplo de sistema atmosférico que ocorre nesta categoria (PEREIRA *et al.*, 2002; ORLANSKI, 1975).

Por fim, a Microescala apresenta sistemas atmosféricos de ocorrência local e em curta duração de tempo. Essa é a escala em que os sistemas atuam mais próximos da superfície terrestre e onde estão inseridos os sistemas atmosféricos causadores de concentrações consideráveis de chuva e maior parte dos outros sistemas meteorológicos. Na parte mais inferior da camada da microescala, o contato dos ventos com a superfície terrestre gera uma fricção e esse cenário forma uma zona na atmosfera chamada de Camada Limite Planetária – CLP, esta é a camada de maior interesse dos pesquisadores em micrometeorologia (MAHRT, 2014; ORLANSKI, 1975; PEREIRA *et al.*, 2002; STULL, 1988).

Diante da compreensão dessa divisão de escalas fica mais simples entender a atuação dos sistemas atmosféricos ao longo do tempo na região da costa amazônica. Recentes estudos nesta região tem focado na dinâmica de fluxo e concentração do CO<sub>2</sub> dentro da floresta de mangue (FREIRE, 2018). Esse tipo de pesquisa necessita de um entendimento específico da dinâmica atmosférica para compreender a interação desta com o manguezal, para isto, o entendimento da microescala é fundamental nesse ecossistema (MAHRT, 2014).

Entender os sistemas atuantes em escala global e mesoescala também são importantes para entender a interação da atmosfera com a floresta de mangue, pois são esses sistemas que contribuem principalmente nos regimes de precipitação da região costeira da Amazônia (MOURA; VITORINO, 2012; REBOITA *et al.*, 2010).

Através de uma observação geral, Hartmann (1994) descreve que o planeta recebe diferentes intensidades de radiação solar pela sua superfície, aquecendo-a desigualmente. Esse aquecimento desigual gera diferentes pressões que movimentam massas de ar pelo globo terrestre dando origem a diferentes circulações de massas de ar. A movimentação dessas massas dão origem a Circulação Geral da Atmosfera.

Hartmann (1994) ainda descreve que a Circulação Geral da Atmosfera é um mecanismo natural do planeta para mantê-lo em equilíbrio térmico, deslocando massas de ar quente para regiões mais frias da terra e vice-versa. Além disso, essa circulação provoca o deslocamento das massas de ar de altas latitudes para zonas de baixa pressão na região equatorial originando um sistema de vento chamado de ventos alísios

O movimento de rotação da Terra influencia diretamente nessa Circulação Geral da Atmosfera e, os ventos alísios, provocam o chamado efeito Coriolis (força inercial causada pelo movimento de rotação da Terra) que faz com que os ventos provenientes do Hemisfério Norte se desloquem no sentido leste-oeste (alísios de nordeste) e os ventos provenientes do Hemisfério Sul, no sentido de oeste-leste (alísios de sudeste) (HARTMANN, 1994; REBOITA *et al.*, 2010).

Esse cenário de movimentos de massas de ar, diferentes pressões e ventos que ocorre na região equatorial do planeta gera um sistema em escala global que tem grande influência na dinâmica atmosférica da região costeira da Amazônia: A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT. A ZCIT corresponde a uma faixa no planeta onde ocorre a confluência dos ventos alísios de sudeste com os de nordeste e é caracterizado por intensa atividade convectiva. A ZCIT possui uma variação sazonal, alcançando sua posição mais austral entre o verão e o outono (de fevereiro a abril, localiza-se em ~4° S no Atlântico), já no final do

inverno alcança sua posição mais boreal ( $\sim 10^\circ$  N no Atlântico e  $13^\circ$  N no Pacífico) (HASTENRATH, 1991; MOURA; VITORINO, 2012).

A ZCIT é o sistema mais importante para a precipitação pluviométrica na região da costa amazônica. Os máximos pluviométricos são registrados no primeiro semestre do ano devido à migração da ZCIT para o Hemisfério Sul. Além disso, o intenso aquecimento radioativo da superfície na região tropical promove grande atividade convectiva contribuindo para formação de nuvens causando intensa precipitação na região com médias acima de 2.000 mm/ano (MOURA; VITORINO, 2012; REBOITA *et al.*, 2010).

Os manguezais da costa amazônica estão sob a influência do oceano atlântico (SOUZA FILHO, 2005). Essa interação terrestre e marítima gera um mecanismo atmosférico que auxilia no transporte de umidade para o interior do continente e contribui para a ocorrência de precipitação na região costeira, denominada de brisa marítima (REBOITA *et al.*, 2010).

A circulação de brisa marítima assim como a circulação de brisa terrestre, é resultado da diferença de capacidade calorífica do continente e da água. Durante o dia, a temperatura no continente é maior em relação a temperatura da água, porém a noite é observado o contrário. No lado que está quente ocorre uma baixa pressão com o fluxo de ar sendo proveniente do lado relativamente mais frio. Este ar que se desloca para o lado mais quente sobe e retorna para o lado mais frio, gerando uma circulação local (GERMANO *et al.*, 2017).

A convecção induzida pela brisa marítima e a interação dos ventos alísios com a circulação de brisa geram um sistema atmosférico de mesoescala chamada de Linhas de Instabilidade - LI. Essas linhas de instabilidade são bandas de precipitação que consistem basicamente de um conjunto de nuvens cumulonimbus (Cbs) de diversos tamanhos, que se organizam em forma de linha ou em curva, e se deslocam uniformemente mantendo certa identidade durante o seu tempo de vida, que pode variar entre poucas horas até um dia (CAVALCANTI, 1982; COHEN *et al.*, 1995; SILVA DIAS, 1987).

Essas linhas de instabilidade se formam no oceano atlântico próximo à costa amazônica e adentram no continente, podendo se regenerar durante sua propagação para oeste. Estudos apontam que na região leste do estado do Pará, as linhas de instabilidade contribuem com 45% da precipitação durante o período chuvoso dessa região (COHEN *et al.*, 1989; COHEN *et al.*, 1995).

Os fenômenos meteorológicos citados são influenciados e modulados por mecanismos oceano-atmosfera de diferentes escalas (interanual, sazonal e intrassazonal) que determinam principalmente a quantidade pluviométrica de determinadas regiões equatoriais, inclusive da

costa amazônica. Dentre os principais mecanismos tropicais de circulação oceano-atmosfera destacam-se o El Niño Oscilação Sul, o Dipolo do Atlântico e a Oscilação Madden-Julian, que em suas diferentes fases influenciam diretamente na atividade convectiva em áreas tropicais (MOURA; VITORINO, 2012; SOUZA; AMBRIZZI, 2006; VITORINO, 2003).

A observação de todos esses sistemas meteorológicos em diferentes escalas é fundamental para compreender a dinâmica atmosférica atuante sobre as florestas de mangue da costa amazônica, possibilitando assim investigar a influência das variáveis meteorológicas sobre os diferentes processos ecológicos como a produção de serapilheira.

### **1.3.2 Variáveis meteorológicas e a produção de serapilheira**

Visto que fatores como a fenologia do mangue e a salinidade tem influência sobre a produção de serapilheira, a observação da relação das variáveis meteorológicas com essa produção também é importante para compreender esse sistema. Pesquisas realizadas na região costeira da Amazônia, apontam que o regime de precipitação pluviométrica é uma das variáveis com maior influência na produção de serapilheira dos manguezais (FERNANDES, 2003; FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006).

O regime de precipitação nessa região é caracterizado principalmente por dois períodos: chuvoso e menos chuvoso (MORAES *et al.*, 2005). O período chuvoso ocorre geralmente no primeiro semestre do ano, começando no mês de janeiro e se prolongando até o mês de junho. Já o período menos chuvoso ocorre no segundo semestre a partir do mês de julho e estendendo-se até dezembro (AMANAJAS, BRAGA, 2012; MORAES *et al.*, 2005; REBOITA *et al.*, 2010).

A partir deste cenário de precipitação na região costeira da Amazônia, foi observado menores produções de serapilheira nas florestas de mangue durante o período chuvoso e maiores produções no período menos chuvoso (FERNANDES, 2003; FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006). A fração folha possui maior significância nessa diferença de produção ao longo do tempo e tal observação pode estar aliado ao aumento da salinidade no manguezal pela diminuição da precipitação no segundo semestre (CARVALHO, 2002; FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006).

Essa relação de produção de serapilheira com o regime de precipitação também é observado em florestas de terra firme na região amazônica. Maiores valores de produção são observados no segundo semestre do ano no período menos chuvoso da região (BALIEIRO, 2002; MOREIRA; SILVA, 2004; SILVA *et al.*, 2011). Essa observação nesses dois cenários

demonstra a influência direta que a precipitação possui sob a produção de serapilheira em florestas da região amazônica.

A radiação solar e a temperatura do ar também são variáveis que podem ter influência na produção de serapilheira, porém não diretamente. Os altos índices de radiação solar que a região costeira da Amazônia está sujeita disponibiliza energia para as florestas realizarem fotossíntese e aumentarem sua biomassa, com isso as florestas de mangue terão uma maior estrutura arbórea que pode colaborar para uma maior produção de serapilheira (RODRIGUES *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2006).

Além disso, pesquisas têm sido realizadas nos manguezais da costa amazônica para observar a influência da radiação no crescimento e desenvolvimento das espécies de mangue demonstrando a relação positiva que essas florestas possuem com os altos índices de radiação solar nesta região (FERNANDES, 2016; LOPES *et al.*, 2013).

Essa mesma radiação solar também permite que esta região possua elevadas temperaturas do ar durante todo o ano. Pesquisas sobre a estrutura das florestas de mangue demonstram que em regiões com baixas latitudes e menor variação de temperatura ocorre um maior crescimento e desenvolvimento das espécies de mangue (BERNINI; REZENDE, 2004; RICHIERI, 2006; SALES *et al.*, 2009), e esse maior desenvolvimento promove uma estrutura arbórea que pode contribuir significativamente para uma maior produção de serapilheira.

Outra variável meteorológica importante é o vento. Esse atua durante todo o ano na costa amazônica, possuindo maiores intensidades no segundo semestre do ano, período menos chuvoso (GERMANO *et al.*, 2017). Apesar da sua importância, nenhuma pesquisa científica tem estudado a influência da atuação dos ventos na produção de serapilheira nos manguezais da Amazônia, podendo esta variável ter uma significativa relação com essa produção.

Todas essas variáveis meteorológicas estão associadas a sistemas atmosféricos de diferentes escalas espaço-temporais que atuam na região costeira da Amazônia. Realizar uma análise integrada desses sistemas atmosféricos e suas variáveis meteorológicas com a dinâmica de produção de serapilheira torna-se necessário a fim de compreender a interação que a atmosfera possui sobre esse ecossistema.

#### 1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

Diante de tudo que foi apresentado na revisão bibliográfica fica claro a importância de pesquisas científicas em manguezais, principalmente na região amazônica onde a pesquisa nesse âmbito é escassa. Diante disso, os objetivos deste trabalho são apresentados em objetivo

geral e objetivos específicos, onde estes últimos norteiam os próximos capítulos (artigos) deste documento.

#### **1.4.1 Objetivo Geral**

Investigar a influência da precipitação e do vento horizontal na produção de serapilheira no manguezal de Cuiarana, Salinópolis, Costa Amazônica.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Analisar a sazonalidade pluviométrica e os sistemas precipitantes sobre a costa amazônica e a influência deste na variabilidade da produção de serapilheira em uma floresta de mangue durante um ciclo anual.

- Caracterizar a variação temporal de direção e velocidade do vento para região de Cuiarana e sua influência na produção espaço-temporal de serapilheira em um manguezal da costa amazônica.

### **1.5 ESTRUTURA DA TESE**

Os próximos capítulos irão apresentar as metodologias utilizadas, descrever mais detalhadamente a área de estudo, e discutir os principais resultados encontrados nesta pesquisa.

O Capítulo 2 aborda a interação precipitação pluviométrica e variabilidade de produção de serapilheira demonstrando como essa variável atmosférica pode influenciar na produção das diferentes frações de serapilheira em florestas de mangue da região amazônica.

O Capítulo 3 descreve detalhadamente a variação temporal de direção e velocidade do vento e discuti a interação dessa variável com a produção de serapilheira de diferentes pontos de uma floresta de mangue da costa amazônica utilizando Análise de Componentes Principias – ACP.

Por fim, o Capítulo 4 faz uma síntese dos principais resultados encontrados descrevendo seus impactos e implicações e apresentando perspectivas e prioridades para futuras pesquisas neste âmbito. Algumas considerações finais são colocadas a fim de ressaltar a importância deste trabalho.

## 2 PRECIPITAÇÃO PLUVIAL ASSOCIADA À PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA EM UM MANGUEZAL DA COSTA AMAZÔNICA

**Resumo:** Este estudo tem como objetivo analisar a variação pluviométrica sazonal juntamente aos sistemas precipitantes sobre a costa amazônica e sua influência na variabilidade da produção de serapilheira de floresta de mangue ao longo do ano. Foram delimitadas 3 parcelas amostrais apresentando 3 espécies de mangue *R. mangle*, *A. germinans* e *L. racemosa*. Em cada parcela foi instalado aleatoriamente 4 coletores de serapilheira de 1 m<sup>2</sup>. A partir de coletas mensais as amostras foram classificadas em folha, lenhoso, material reprodutivo (flor, fruto + estípula), e miscelânea. Todos esses materiais foram secos e pesados. Os dados de precipitação pluvial foram obtidos a partir da Torre Micrometeorológica da UFRA e através da técnica CPC MORPHing technique (CMORPH) para a região de Cuiarana. Foi utilizado *two-way* e *one-way* ANOVA ( $p < 0,05$ ) e análise de regressão linear ( $p < 0,05$ ). Os resultados mostram que a variação temporal da precipitação é modulada por diferentes sistemas meteorológicos, onde os meses de março, abril e maio (MAM) apresentam-se como trimestre mais chuvoso. Na produção de serapilheira houve diferença significativa entre os valores de produção mensal e entre as frações da serapilheira. A produção total anual de serapilheira foi de  $9,4 \pm 0,06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , onde 67% foi composta pela fração folha com  $6,32 \pm 0,06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , seguido por material reprodutivo  $2,1 \pm 0,02 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , lenhoso  $0,94 \pm 0,01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e miscelânea  $0,04 \pm 0,00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . *R. mangle* apresentou a maior produção de folhas, seguida por *A. germinans* e *L. racemosa*. Folha total e folha de *L. racemosa* apresentaram correlação significativa com a precipitação ( $r^2=0,36$  e  $r^2=0,72$ ;  $p<0,05$ ), respectivamente. Folhas tiveram tendências negativas com a precipitação, porém lenhoso e material reprodutivo tiveram tendências positivas. A pesquisa mostra a direta relação que a precipitação possui com as frações lenhoso e material reprodutivo e a inversa relação com a fração folha.

**Palavras-chave:** Precipitação pluvial, Produção de serapilheira, Mangue, Costa Amazônica.

**Abstract:** RAINFALL PRECIPITATION ASSOCIATED LITTERFALL PRODUCTION IN MANGROVE OF THE AMAZON COAST. This study aims to analyze the seasonal rainfall variation along with precipitation systems on the Amazon coast and its influence on the variability of litterfall production in a mangrove forest throughout the year. Three sample plots were delineated presenting 3 mangrove species *R. mangle*, *A. germinans* and *L. racemosa*. In each plot, 4 traps with 1 m<sup>2</sup> were randomly installed. From monthly collections the litterfall were classified as leaf, wood, reproductive material (flower, fruit + stipules), and

miscellaneous, oven-dried and heavy. The rainfall data were obtained from the Micrometeorological Tower of the UFRA and by the CPC MORPHing technique (CMORPH) for the Cuiarana region. Two-way and one-way ANOVA ( $p < 0.05$ ) and linear regression analysis ( $p < 0.05$ ) were used. The results show that the temporal variation of the precipitation is modulated by different meteorological systems, where the months of March, April and May (MAM) are presented as rainier. In the litterfall production there was a significant difference between the values of monthly production and between the fractions. The annual litterfall production was  $9.4 \pm 0.06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , where 67% was composed of leaf fraction with  $6.32 \pm 0.06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , followed by reproductive material  $2.1 \pm 0.02 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , woody  $0.94 \pm 0.01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  and miscellaneous  $0.04 \pm 0.00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ . *R. mangue* presented the highest leaf yield, followed by *A. germinans* and *L. racemosa*. Total leaf and *L. racemosa* leaf presented significant correlation with precipitation ( $r^2 = 0.36$  and  $r^2 = 0.72$ ,  $p < 0.05$ ), respectively. Leaves had negative trends with precipitation, but woody and reproductive material had positive trends. The research shows the direct relation that precipitation has with the woody fractions and reproductive material and the inverse relationship with the leaf fraction.

**Keywords:** Rainfall, Litterfall production, Mangrove forest, Amazon Coast.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Em regiões equatoriais, as florestas de mangue apresentam elevada produtividade decorrente principalmente das condições meteorológicas, como altas taxas de precipitação pluviométrica, radiação solar e temperatura (COUGO, 2015; KATHIRESAN; BINGHAM, 2001; LIMA; TOGNELLA, 2012; POOL *et al.*, 1975). A produção de serapilheira é um importante componente da produtividade do manguezal, o entendimento do regime pluviométrico e dos sistemas meteorológicos precipitantes contribui para compreender a variabilidade dessa produção de serapilheira e sua exportação para áreas adjacentes através da dinâmica de marés (DAY Jr. *et al.*, 1987).

As espécies arbóreas do manguezal estão inseridas em um complexo sistema de ciclagem de nutrientes, que através da produção de serapilheira fornecem ao ecossistema elementos químicos que auxiliam na sua manutenção (AMARASINGHE; BALASUBRAMANIAN, 1992; NADELHOFFER; RAICH 1992; NASCIMENTO *et al.*, 2015). A serapilheira é todo material vegetal e animal que é depositado (*litterfall*) e acumulado (*litter*) sobre o solo das florestas, constituído geralmente por folhas, tecidos

lenhosos, material reprodutivo (flores, frutos, e sementes) e miscelânea (material não identificado), além de animais mortos e fezes (FERNANDES *et al.*, 2007; GOLLEY, 1983; SILVA *et al.*, 2011).

A produção de serapilheira sofre variações ao longo do tempo (FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006; ROSS *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2011), geralmente associadas à dinâmica sazonal da precipitação pluviométrica que atua na região. Tal associação entre produção de serapilheira e sazonalidade da precipitação pluviométrica se deve à influência das condições climáticas da região sobre as características fenológicas das espécies vegetais (LIMA; TOGNELLA, 2012).

Dessa forma, admite-se que a dinâmica sazonal de precipitação local assume importante papel na determinação da variabilidade de produção da serapilheira no ecossistema de manguezal (FERNANDES, 2003). Contudo, há poucos dados acerca da dinâmica atmosférica atuante na Amazônia brasileira e sua influência na variabilidade de produção de serapilheira em manguezais. Assim, este estudo teve como objetivo analisar a variação pluviométrica sazonal juntamente aos sistemas precipitantes sobre a costa amazônica e a influência deste na variabilidade da produção de serapilheira em uma floresta de mangue durante um ciclo anual.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

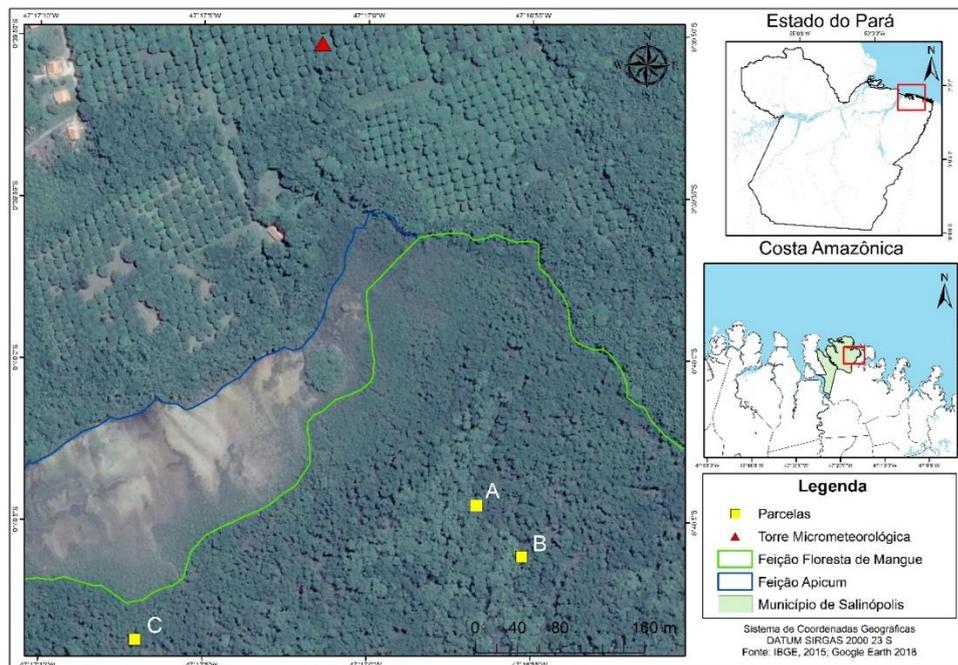
### 2.2.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado no Sítio Experimental de Cuiarana, pertencente a Universidade Federal do Pará - UFPA e a Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, localizado na Comunidade de Cuiarana (00°39'36"S e 47°15'35"W), município de Salinópolis, costa amazônica do estado do Pará.

O manguezal da área de estudo apresenta feição de floresta de mangue sendo encontradas 3 espécies arbóreas típicas dos manguezais brasileiros *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Avicennia germinans* (mangue preto) e *Laguncularia racemosa* (mangue branco) pertencentes, respectivamente, as famílias Rhizophoraceae, Acanthaceae e Combretaceae. Nessa feição observação um trecho de floresta de mangue anã, com altura média de 2 metros. A mesma área ainda apresenta a feição Apicum caracterizada como uma planície hipersalina, com textura areno-lamosa (BRASIL, 2018).

A região apresenta um sistema de macromarés (4 a 6 m de altura máxima), com regime semidiurno. A área é totalmente inundada apenas nas marés de sizígia e apresenta um relevo entrecortado por canais (*creeks*) que acompanham o nível da maré, permitindo a entrada de água no manguezal em marés de quadratura (BARBOSA *et al.*, 2007; SOUZA FILHO *et al.*, 2006).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo no Sítio Experimental de Cuiarana, Costa Amazônica.



### 2.2.2 Coleta de dados

Na floresta de mangue foram delimitadas 3 parcelas amostrais de 20 m x 20 m denominadas de A, B e C. Em cada parcela foram instalados aleatoriamente 4 coletores de serapilheira suspensos a 1,5 m do solo, cada um com área de coleta de 1 m<sup>2</sup>. As coletas de serapilheira foram realizadas mensalmente, de agosto de 2017 a julho de 2018.

As amostras foram classificadas nas seguintes frações: (a) folha (por espécie), (b) lenhoso, (c) material reprodutivo (flor, fruto + estípula), e (d) miscelânea (material vegetal e animal não identificado, inclusive fezes). Após a classificação, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até atingir peso constante, e posteriormente pesadas em balança com precisão de 0,01 g (FERNANDES *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2011).

Para descrever a precipitação mensal durante o período do experimento, utilizaram-se dados mensais de precipitação pluviométrica (mm) obtidos a partir da soma dos dados a cada

10 minutos de um pluviômetro instalado a 12 m de altura na Torre Micrometeorológica da UFRA localizado dentro do Sítio Experimental de Cuiarana a aproximadamente 400 m da área de estudo.

Para dados de precipitação (mm) entre os anos de 1998 a 2016 foram utilizados dados mensais obtidos a partir da técnica CPC MORPHing technique (CMORPH) para a região de Cuiarana com grade de 8x8 km e quadrante 1619, onde a pluviosidade mensal foi obtida a partir da soma dos dados de meia em meia hora disponíveis no *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Os dados do NOAA estão disponíveis em, [ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/global\\_CMORPH/30min\\_8km](ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/global_CMORPH/30min_8km). As estimativas de precipitação seguiram os métodos descritos por Joyce *et al.* (2004).

### 2.2.3 Análise dos dados

Para caracterização da pluviosidade foi calculado o acúmulo médio anual da precipitação (mm) de 1998 a 2016. Para análise sazonal foram calculadas as médias de precipitação para cada estação do ano no hemisfério sul, ou seja, dezembro, janeiro e fevereiro (DJF), março, abril e maio (MAM), junho julho e agosto (JJA), setembro, outubro e novembro (SON). Foi observado a anomalia de precipitação durante o período de coleta de serapilheira (MOURA; VITORINO, 2012; MOTA *et al.*, 2009).

Para comparar o aporte de serapilheira de cada fração dentro de cada mês e entre meses, foi utilizado *two-way repeated measures ANOVA* ( $p < 0,05$ ) (LITTELL *et al.*, 1998). Para comparar a produção anual de cada fração, foi utilizada *one-way ANOVA* ( $p < 0,05$ ). Para correlacionar os valores de produção de serapilheira de cada fração com a precipitação, foi utilizada análise de regressão linear ( $p < 0,05$ ) (FERNANDES *et al.*, 2007). Foram usados os *softwares* SPSS versão 13.0 e o PAST versão 10.0.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Descrição da variabilidade pluviométrica

O total pluviométrico médio anual no período de 1998 a 2016 foi 2.787 mm para a região de Cuiarana. Ocorreram os maiores máximos de precipitação durante a estação de verão (DJF) e outono (MAM). Analisando a precipitação durante o trimestre de DJF, evidencia-se máximos pluviométricos com valores sazonais acima de 950 mm. Já durante o

trimestre de MAM, observa-se uma intensificação do máximo pluviométrico sazonal acima de 1600 mm (Tabela 1).

Essas condições de precipitação em ambos os trimestres são moduladas por dois sistemas meteorológicos atuantes na costa amazônica, As Linhas de Instabilidade (LI) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (CAMPONOGARA; SILVA DIAS, 2011; COHEN, 1989). Ademais, no trimestre de MAM também ocorre a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) intensificando os máximos pluviométricos na região (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; MOTA *et al.*, 2009; MOURA *et al.*, 2018; MOURA; VITORINO, 2012).

Para as estações de inverno (JJA) e primavera (SON), foram observados menores máximos de precipitação na área de estudo. O trimestre de JJA apresentou máximos pluviométricos acima de 220 mm. Em contrapartida, foi observado no trimestre de SON máximos pluviométricos acima de 19 mm (Tabela 1). Durante esses dois períodos observa-se a atuação das LI, porém sua maior frequência ocorre em JJA (ALCANTARA *et al.*, 2011; COHEN, 1989) estando associado aos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) e ao mecanismo de Brisa Marítima (BM) (COHEN *et al.*, 1995).

Além das LI, o Sistema Convectivo de Mesoescala Circular (SCMC) atuam durante o período de SON, no entanto esses dois sistemas se formam e adentram o continente influenciados pela atuação da BM e dos ventos alísios, precipitando após a linha de costa ocasionando menores volumes de precipitação na região costeira (COHEN *et al.*, 1995; GERMANO *et al.*, 2017; SODRÉ *et al.*, 2015).

Desde modo, fica evidente a grande variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica na região de Cuiarana, caracterizando um período chuvoso (DJF e MAM), um período menos chuvoso ou de transição (JJA) e um período seco (SON) (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; MOTA *et al.*, 2009; MORAES *et al.*, 2005; NOBRE; SHUKLA, 1996).

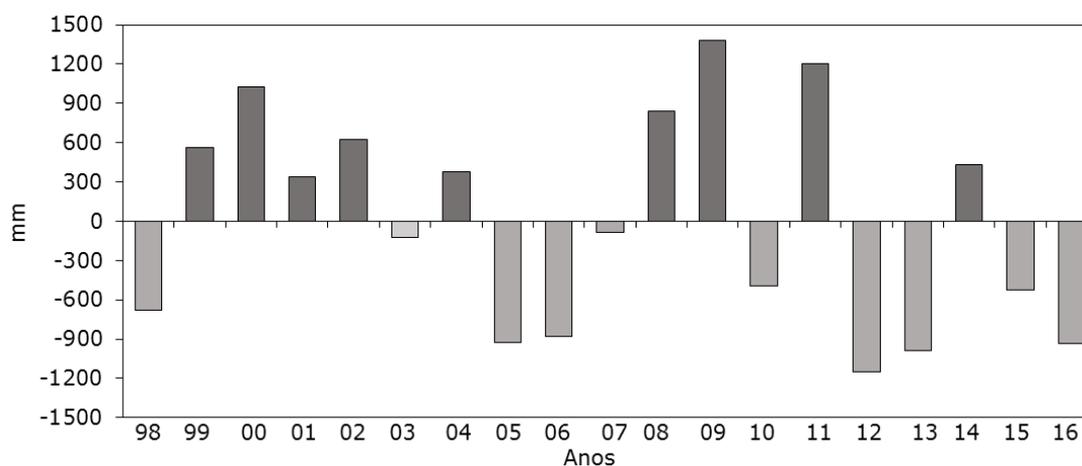
Houve uma grande variabilidade das anomalias de precipitação entre os anos de 1998 a 2016 para a região de Cuiarana (Figura 2). Essa variabilidade de precipitação foi influenciada principalmente pelos eventos ENOS (El Niño-Oscilação Sul) que ocorreram durante esse período, ou seja, La Niña para os anos de 1999 – 2001 e 2008 – 2009) e El Niño para os anos de 2005 - 2006, 2010, 2012 – 2013, 2015 – 2016), demonstrando assim a influência desse sistema de grande escala na costa amazônica (CPTEC INPE, 2018).

Tabela 1- Variação sazonal da precipitação pluviométrica entre dezembro de 1998 e novembro de 2016 na região de Cuiarana, Costa Amazônica.

Anos / Período	Precipitação Pluviométrica (mm)			
	DJF	MAM	JJA	SON
1999	882,5	1929,4	345,8	37,8
2000	1490,6	1916,2	270,8	92,2
2001	1956,4	1137,2	221,4	41,4
2002	976,6	2030,4	190,2	7,6
2003	1206,0	1418,4	196,8	0,4
2004	1488,2	1437,8	263,8	1,6
2005	442,0	1280,8	69,0	0,6
2006	626,0	1127,0	235,8	16,2
2007	593,8	1768,0	62,0	3,8
2008	975,6	2393,8	456,6	2,4
2009	1595,2	2189,2	361,0	1,2
2010	682,4	1300,6	264,4	26,8
2011	1599,0	2249,0	189,0	65,0
2012	542,8	940,2	104,4	25,4
2013	421,2	989,2	382,8	17,8
2014	874,8	2085,2	268,4	1,6
2015	314,0	1798,0	150,8	1,2
2016	654,2	1063,4	70,2	0,8
Média	962,3	1614,1	228,0	19,1

Fonte: (CMORPH, 2018).

Figura 2- Anomalia de precipitação (mm) entre os anos de 1998 a 2016 na região de Cuiarana, Costa Amazônica.

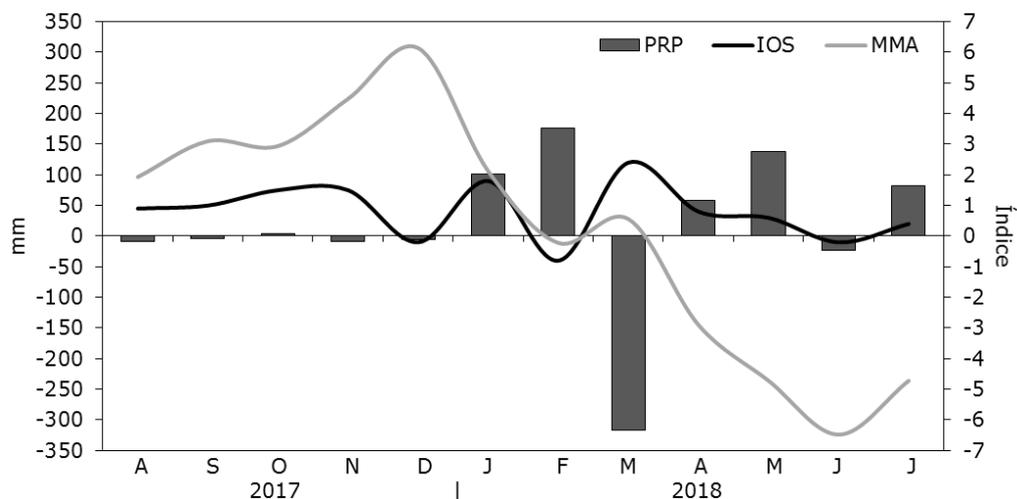


Durante o período de coleta de serapilheira (agosto de 2017 a julho de 2018), o trimestre DJF apresentou pluviosidade acima da média (Tabela 1) com 1.220 mm. No trimestre de MAM observa-se acúmulos de precipitação abaixo da média para este período com 1.465 mm, influenciado por uma anomalia negativa de -317,6 mm em março de 2018 (Figura 3). No entanto, estudos sobre a pluviosidade na Amazônia caracterizam março como o mês mais

chuvoso na costa amazônica (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010; AMANAJÁS; BRAGA, 2012; MARENGO *et al.*, 2001; REBOITA *et al.*, 2010; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2006). Essa anomalia pode ter sido influenciada pela variação negativa do Índice de Oscilação Sul – IOS em fevereiro de 2018. Aliado a isto, o Modo Meridional do Atlântico – MMA registrou índice positivo durante março, desfavorecendo a precipitação no litoral amazônico (CHIANG, 2004) (Figura 3).

No trimestre JJA, a precipitação pluviométrica acumulada de 278,3 mm superou a média, influenciada por uma anomalia positiva no mês de julho de 81,6 mm (Figura 3). No trimestre SON, a precipitação pluviométrica acumulada com 13 mm foi inferior à média. Desse modo, caracterizam-se um período de JJA mais chuvoso e um período de SON mais seco.

Figura 3- Anomalia de precipitação - PRP (mm), Índice de Oscilação Sul - IOS e Modo Meridional do Atlântico – MMA durante o período de coleta de serapilheira (agosto de 2017 a julho de 2018) no manguezal do Sitio Experimental de Cuiarana.



### 2.3.2 Produção de serapilheira

Houve diferença significativa entre os valores de produção mensal e entre as frações de serapilheira ( $df = 33$ ,  $F = 2.900$ ,  $p = 0.001$ ). Foi observado diferença significativa entre os meses da fração folha (total das 3 espécies) ( $p < 0.05$ ), mas não foi observado diferença significativa nas frações lenhoso, material reprodutivo (flor, fruto + estípula) e miscelânea ( $p > 0.05$ ). Entre as frações, foi observado diferença significativa em todos os meses ( $p < 0.05$ ) exceto nos meses de SON de 2017 e abril de 2018 (Tabela 2).

Tabela 2- Variação temporal das frações de serapilheira Folha (total das 3 espécies), Lenhoso, M. Reprodutivo (flor, fruto + estípula) e Miscelânea no manguezal de Cuiarana, Costa amazônica. Dados médios e  $\pm$  erro padrão (n = 3).

Meses	Produção de serapilheira (g m <sup>2</sup> )			
	Folha Total	Lenhoso	M. Reprodutivo	Miscelânea
Ago/17	95.19 $\pm$ 7.07 A a	7.81 $\pm$ 4.27 B a	14.29 $\pm$ 0.39 BC a	1.15 $\pm$ 0.914 BD a
Set/17	49.37 $\pm$ 22.88 A ab	11.04 $\pm$ 2.49 A a	11.48 $\pm$ 5.22 A a	0.00
Out/17	48.80 $\pm$ 19.56 A ab	5.24 $\pm$ 3.55 A a	15.98 $\pm$ 3.32 A a	0.00
Nov/17	48.67 $\pm$ 17.72 A ab	0.52 $\pm$ 0.34 A a	16.04 $\pm$ 2.89 A a	0.00
Dez/17	59.77 $\pm$ 8.14 A ab	3.55 $\pm$ 1.24 B a	17.75 $\pm$ 8.05 B a	0.00
Jan/18	21.01 $\pm$ 0.98 A b	9.27 $\pm$ 2.26 B a	14.72 $\pm$ 4.04 AB a	0.00
Fev/18	24.13 $\pm$ 3.15 A b	5.81 $\pm$ 0.82 B a	10.94 $\pm$ 0.87 B a	0.00
Mar/18	50.20 $\pm$ 10.40 A ab	11.89 $\pm$ 1.38 BC a	29.61 $\pm$ 8.61 ABC a	0.06 $\pm$ 0.033 C a
Abr/18	35.06 $\pm$ 3.05 A b	16.02 $\pm$ 8.44 A a	23.69 $\pm$ 7.02 A a	0.00
Mai/18	63.17 $\pm$ 13.32 A ab	8.74 $\pm$ 3.37 B a	23.87 $\pm$ 6.62 B a	2.30 $\pm$ 1.259 B a
Jun/18	68.27 $\pm$ 2.40 A ab	8.66 $\pm$ 5.14 B a	15.47 $\pm$ 3.84 B a	0.15 $\pm$ 0.154 B a
Jul/18	68.81 $\pm$ 4.52 A ab	5.33 $\pm$ 0.85 B a	15.74 $\pm$ 3.43 B a	0.00

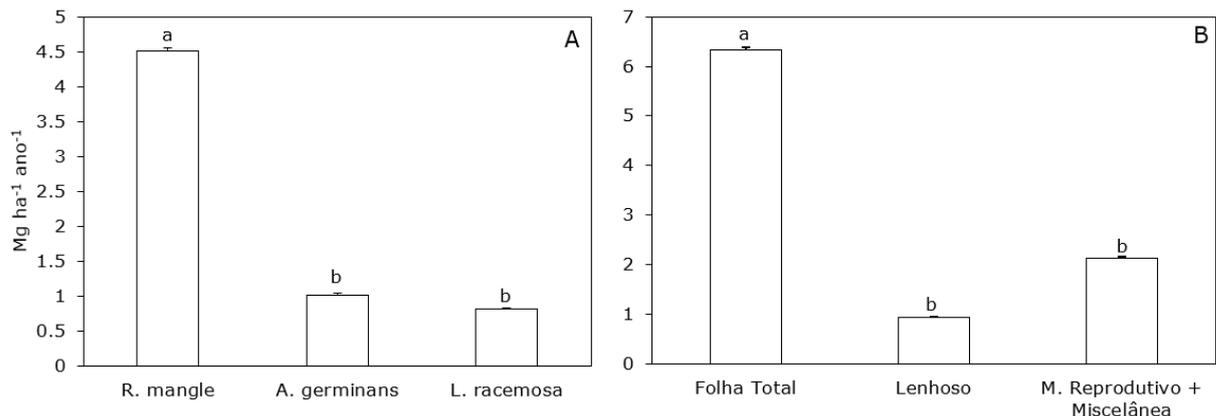
Médias com letras iguais (letras maiúsculas entre as frações em cada mês e letras minúsculas entre os meses em cada fração) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A observação de cada fração da serapilheira e a comparação do aporte entre as frações contribui no entendimento de cada uma dessas frações na ciclagem de nutrientes. Alguns estudos mostram que as folhas da espécie *A. germinans* apresenta maiores teores de nitrogênio, potássio e magnésio comparados as espécies *R. mangle* e *L. racemosa*. Em contrapartida a espécie *L. racemosa* apresenta altos teores de fósforo e ferro. As folhas da espécie *R. mangle* são caracterizadas por apresentarem baixos teores de nitrogênio e altos teores de lignina, além de serem ricas em taninos. A fração lenhosa e material reprodutivo também apresentam características químicas distintas e essas diferentes composições químicas entre as frações contribui para diferentes formas e tempos de decomposição da serapilheira. (BERNINI *et al.*, 2006; CUZZUOL; ROCHA, 2012; LAANBROEK *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Da produção anual de serapilheira total (folhas + lenhoso + reprodutivo + miscelânea) ( $9.4 \pm 0.06$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), 67% foi composta pela fração folhas ( $6.32 \pm 0.06$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Essa fração, geralmente apresenta o maior aporte na serapilheira em manguezais (FERNANDES *et al.*, 2007; HOQUE *et al.*, 2015; LARCHER *et al.*, 2014; MCHENGA; ALI, 2017). A espécie *R. mangle* apresentou a maior produção de folhas, seguida das espécies *A. germinans* e *L. racemosa* ( $4.51 \pm 0.04$ ,  $1.01 \pm 0.02$  e  $0.81 \pm 0.01$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente). O material reprodutivo foi a segunda fração com maior produção anual  $2.1 \pm 0.02$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> seguida pela fração lenhoso  $0.94 \pm 0.01$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e miscelânea  $0.04 \pm 0.00$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Houve diferença significativa da fração folha entre as espécies ( $df = 2$ ,  $F = 46,212$ ,  $p < 0.001$ ) e entre a fração folha total, lenhoso e material reprodutivo (flor, fruto + estípula) + miscelânea ( $df = 2$ ,  $F = 42,894$ ,  $p < 0.001$ ) (Figura 4).

Figura 4- Produção anual de serapilheira da fração folha por espécie (A); Produção anual de serapilheira da fração folha total, lenhoso e material reprodutivo (flor, fruto + estípula) + miscelânea (B). Dados médios e  $\pm$  erro padrão ( $n = 12$ ).



Médias com letras iguais (letras maiúsculas entre as frações em cada mês e letras minúsculas entre os meses em cada fração) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Ao avaliar 4 anos ininterruptos de produção de serapilheira em um manguezal da península de Ajuruteua (costa amazônica) com *R. mangle* e *A. germinans* e precipitação média anual de 3.000 mm, Fernandes *et al.* (2007) obteve valores bem similares ao encontrado neste estudo  $9.2 \pm 0.32$ ,  $9.6 \pm 0.4$ ,  $10.8 \pm 0.28$  e  $9.6 \pm 0.19$  Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A tabela 3 apresenta outros valores de produção de serapilheira e precipitação para outras regiões do Brasil e do planeta.

Tabela 3- Produção de serapilheira (Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e precipitação média anual (mm) em manguezais.

Região	Latitude	Precipitação mm	Serapilheira Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Referência
Costa amazônica, Brasil	00°39'S	2.787	9,4	Este estudo
Paraná, Brasil	25°29'S	2.733	4,1	Larcher <i>et al.</i> (2014)
Zanzibar, Tanzânia	06°19'S	1.398	7,8	Mchenga; Ali (2017)
Sarawak, Malásia	03°59'N	3.794	16,4	Hoque <i>et al.</i> (2015)
Querala, Índia	10°01'N	2.390	16,5	Rani <i>et al.</i> (2016)
Ilha de Okinawa, Japão	26°27'N	2.482	11,7	Kamruzzaman <i>et al.</i> (2016)
Jalisco, México	19°40'N	700	7,8	Guadalupe <i>et al.</i> (2017)

### 2.3.3 Relação pluviosidade e produção de serapilheira

As espécies arbóreas apresentaram padrões distintos de produção de serapilheira foliar ao longo do ano. *R. mangle* e *A. germinans* apresentaram maior aporte acumulado de folhas

no trimestre JJA (160,6 e 49,4 g m<sup>-2</sup>) respectivamente, com um pico de produção em agosto (Figura 5B). Esse mesmo período de alta produção dessas espécies também foi registrado por Fernandes *et al.* (2007) e Mehlig (2006) na região de Bragança, Costa Amazônica.

A espécie *L. racemosa* apresentou maior aporte acumulado de folha no trimestre de SON (37,9 g m<sup>-2</sup>) com um pico no mês de novembro (Figura 5B). Com isso, as 3 espécies observadas apresentaram sua alta produção foliar em períodos com menores volumes de precipitação. Esse fato provavelmente evidencia que a maior abscisão foliar (queda de folhas) pode gerar menor gasto de energia da planta, reduzindo assim suas taxas fotossintéticas e investindo em produção de flores (FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006; ROSS *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2011).

A fração lenhoso e a fração material reprodutivo (flor, fruto + estípula) apresentaram maior aporte acumulado no trimestre de MAM (36,7 e 77,2 g m<sup>-2</sup>) respectivamente, com picos em abril e setembro para fração lenhoso e março para fração material reprodutivo (Figura 5C). A produção de estípula ocorreu ao longo de todo o ano, porém flores foram observadas com maior produção durante as estações com menores precipitações (JJA e SON) e frutos foram observados em elevada produção nos períodos com maiores precipitações (DJF e MAM). Essa tendência na fração material reprodutivo também foi registrada por Fernandes *et al.* (2007) e Mehlig (2006) na região de Bragança, Costa Amazônica. Essa sincronia está de acordo com a tendência geral das florestas tropicais (JANZEN, 1967).

A fração miscelânea apresentou-se com pouca variabilidade, no entanto foi registrado maior aporte acumulado no trimestre de MAM (2,4 g m<sup>-2</sup>) (Figura 5C). Foi observado maior produção dessa fração neste período devido a presença de fezes, possivelmente oriundas da herbivoria, que foram observadas ao final do período chuvoso, sendo a espécie *A. germinans* a mais consumida pela fauna herbívora. (CUZZUOL; ROCHA, 2012; SANTOS, 2011).

Como resultado da análise de regressão linear, a fração folha total apresentou correlação significativa com a precipitação ( $r^2=0.36$ ;  $p<0.05$ ). No entanto quando a fração folha foi analisada por espécie, apenas *L. racemosa* apresentou correlação bastante significativa ( $r^2=0.72$ ;  $p<0.001$ ). As espécies *R. mangle* e *A. germinans* apresentaram baixa correlação ( $r^2=0.12$ ;  $p>0.05$ , e  $r^2=0.17$ ;  $p>0.05$ ), respectivamente (Figura 6). Todas as correlações da fração folha tiveram tendências negativas com a precipitação o que também foi observado por Fernandes *et al.* (2007).

Em contrapartida, as frações lenhoso e material reprodutivo (flor, fruto + estípula) tiveram tendências positivas com a pluviosidade, mas não apresentaram correlação significativa ( $r^2=0.20$ ;  $p>0.05$ , e  $r^2=0.10$ ;  $p>0.05$ ), respectivamente (Figura 6). Devido à alta

produção de frutos nas estações chuvosas, a relação apresentou-se positiva entre material reprodutivo e precipitação, onde essa sincronia contribui na dispersão dos propágulos e sementes das espécies (CARVALHO, 2002; MEHLIG, 2006).

Figura 5- Acumulado mensal de precipitação (mm) para o Sitio Experimental de Cuiarana (A); Variabilidade de serapilheira ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$ ) da fração folha por espécies (B); Variabilidade de serapilheira ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$ ) da fração folha total, lenhoso, material reprodutivo (flor, fruto + estípula) e miscelânea (C). Produção de serapilheira são dados médios  $\pm$  erro padrão.

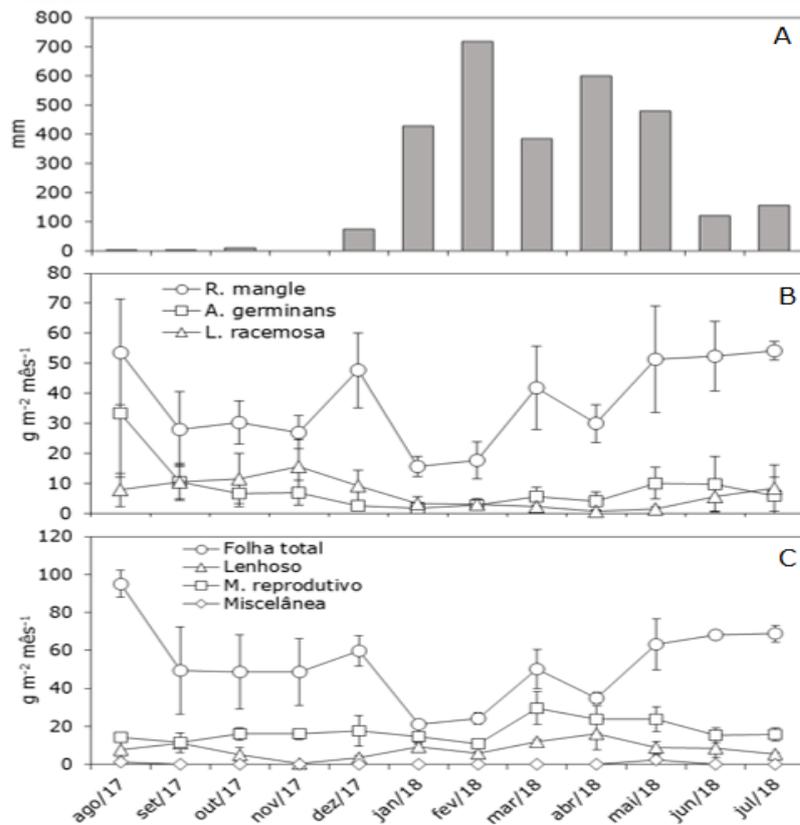
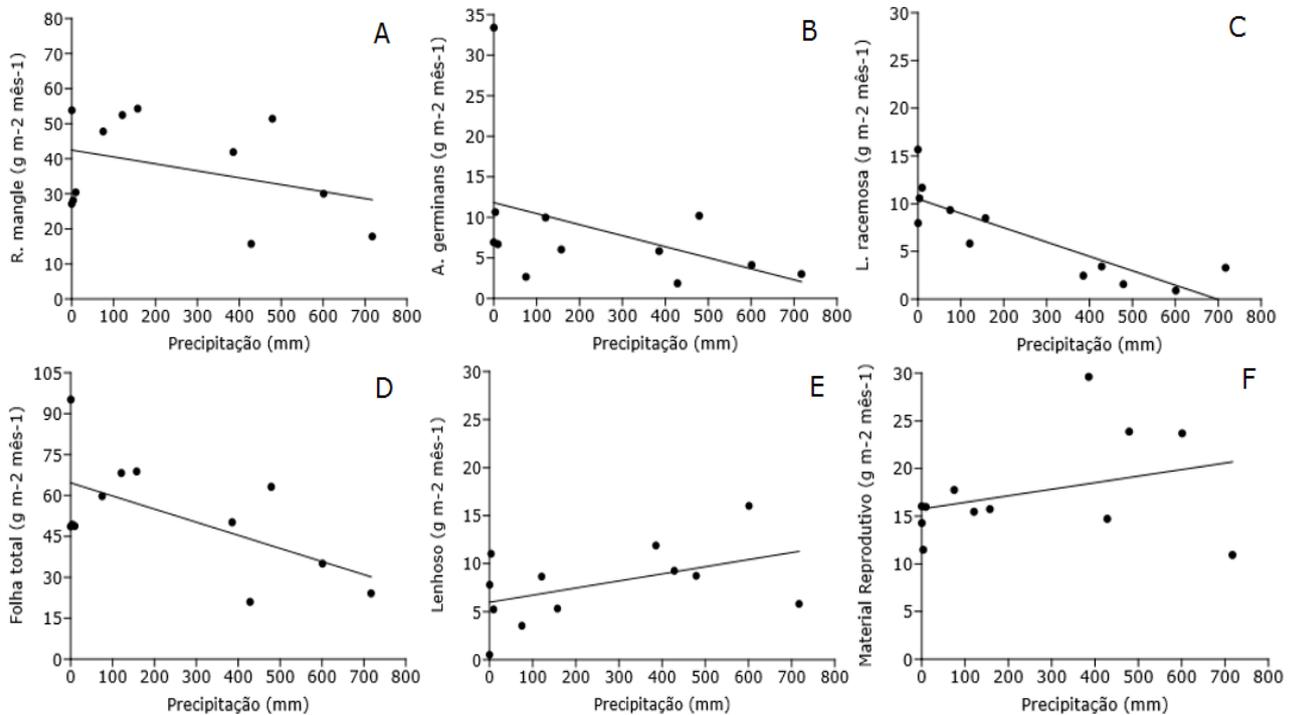


Figura 6- Correlação entre a produção dos componentes de serapilheira ( $\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$ ) folha de *R. mangle*, folha de *A. germinans*, folha de *L. racemosa*, folha total, lenhoso e material reprodutivo (flor, fruto + estípula) e as taxas de precipitação (mm) no Sítio Experimental de Cuiarana.



## 2.4 CONCLUSÃO

A variação de Temperatura da Superfície do Mar através dos eventos ENOS (El Niño Oscilação Sul) e do Dipolo do Atlântico modulam a pluviosidade na região costeira da Amazônia provocando diferentes anomalias de precipitação ao longo do tempo. A precipitação possui direta relação que com as frações lenhoso e material reprodutivo e inversa relação com a fração folha de todas as espécies de mangue. Essa interação entre manguezal e atmosfera colabora com o sistema de ciclagem de nutrientes garantindo uma alta produtividade ao ecossistema e modulando o período de reprodução do mangue amazônica.

## 2.5 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. F. DE., DE SOUZA, E. B., OLIVEIRA, M. DO C. F. DE., SOUZA JÚNIOR, J. A. DE. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: Climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, p. 151–168, 2010.

ALCÂNTARA, C. R., DIAS, M. A. S., SOUZA, E. P., COHEN, J. C. Verification of the role of the low level jets in Amazon squall lines. **Atmospheric Research**, v. 100, n. 1, p. 36-44, 2011.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, p.423-434. 2012.

AMARASINGHE, M. D.; BALASUBRAMANIAM, S. Net primary productivity of two mangrove forest stands on the northwestern coast of Sri Lanka. **Hydrobiologia**, v. 247, p. 37-47, 1992.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas dos manguezais do Brasil**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176p. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas\\_dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf). Acesso em 05.05.2018.

BARBOSA, I. C. C., MÜLLER, R. C. S., ALVES, C. N., BERRÊDO, J. F., & SOUZA FILHO, P. W. Composição Química de Sedimento de Manguezal do Estuário Bragantino (PA)-Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1087-1101. 2015

BERNINI, E., SILVA, M. A. B. D., CARMO, T. M. S. D., & CUZZUOL, G. R. F. Chemical composition of sediments and leaves of mangrove species at the São Mateus river estuary, Espírito Santo State, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 29, n. 4, p. 689-699, 2006.

CAMPONOGARA, G.; DA SILVA DIAS, M. A. F. Precipitação diária e estrutura vertical da atmosfera em Belém, PA. **Ciência e Natura**, p. 263-266, 2011.

CARVALHO, M. L. Aspectos da produtividade primária dos bosques de mangue do Furo Grande, Bragança, Pará. Tese (Doutorado em Biologia Ambiental) - Universidade Federal do Pará, Campus de Bragança-PA. 2002.

CHIANG, J. C. H.; VIMONT, D. J. Analogous meridional modes of atmosphere-ocean variability in the tropical Pacific and tropical Atlantic. **J. Climate**, v. 17, n. 21, p. 4143-4158, 2004.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. **CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 4, p. 34-40, 1989.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, p. 3163-3174, 1995.

COUGO, Michele F. *et al.* Radarsat-2 backscattering for the modeling of biophysical parameters of regenerating mangrove forests. **Remote Sensing**, v. 7, n. 12, p. 17097-17112, 2015.

CUZZUOL, G. R. F.; ROCHA, A. C. Interaction of the water regime with nutrients relations in a mangrove ecosystem. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 1, p. 11-19, 2012.

DAY Jr., J. W. *et al.* The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, Mexico. **Aquatic Botany**, v.27, p.267-284, 1987.

DE MORAES, B. C., DA COSTA, J. M. N., DA COSTA, A. C. L., COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazon**, v. 35, p. 207-217, 2005.

FERNANDES, M. E. B. Produção primária: Serapilheira. In: **Os manguezais da costa norte brasileira**. 1 Ed. São Luís: Fundação Rio Bacanga, 2003. p.61-78.

FERNANDES, M. E. B. MONTEIRO DO NASCIMENTO, A. A.; LIRA CARVALHO, M. Estimativa da produção anual de serapilheira dos bosques de Mangue no Furo Grande, Bragança-Pará. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, 2007.

GERMANO, M. F., VITORINO, M. I., COHEN, J. C. P., COSTA, G. B., SOUTO, J. I. D. O., REBELO, M. T. C., DE SOUSA, A. M. L. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. **Atmospheric Science Letters**, v. 18, n. 2, p. 67-75, 2017.

GOLLEY, F.B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: **Tropical forest ecosystems: structure and function**. Elsevier; Amsterdam, p.137-156, 1983.

HOQUE, M. M., MUSTAFA KAMAL, A. H., IDRIS, M. H., HARUNA AHMED, O., RAFIQUH HOQUE, A. T. M., & MASUM BILLAH, M. Litterfall production in a tropical mangrove of Sarawak, Malaysia. **Zoology and ecology**, v. 25, n. 2, p. 157-165, 2015.

JANZEN, D. H. Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. **Evolution**, v. 21, p. 620-637, 1967.

JOYCE, R. J.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN, P.A.; XIE, P. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*. v. 5, p. 487-503, 2004.

KAMRUZZAMAN, M., KAMARA, M., SHARMA, S., HAGIHARA, A. Stand structure, phenology and litterfall dynamics of a subtropical mangrove *Bruguiera gymnorrhiza*. **Journal of forestry research**, v. 27 n. 3, p. 513-523, 2016.

KATHIRESAN, K.; BINGHAM, B. L. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. **Advances in marine biology**, v. 40, p. 81-251, 2001.

LAANBROEK, H. J., ZHANG, Q. F., LEITE, M., VERHOEVEN, J. T., WHIGHAM, D. F. Effects of *Rhizophora* mangle leaf litter and seedlings on carbon and nitrogen cycling in salt marshes—potential consequences of climate-induced mangrove migration. **Plant and Soil**, v. 426 n. 1-2, p. 383-400, 2018.

LIMA, T. M. J.; TOGNELLA, M. M. P. Estrutura e Função dos Manguezais: Revisão Conceitual. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 1801, 2012.

LITTELL, R. C.; HENRY, P. R.; AMMERMAN, C. B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **Journal of animal science**, v. 76, n. 4, p. 1216-1231, 1998.

MARENGO, J. A., LIEBMANN, B., KOUSKY, V. E., FILIZOLA, N. P., WAINER, I. C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 5, p. 833-852, 2001.

MCHENGA, ISLAM SS; ALI, ABDALLA I. Mangrove litter production and seasonality of dominant species in Zanzibar, Tanzania. **Journal of East African Natural History**, v. 106, n. 1, p. 5-18, 2017.

MEHLIG, Ulf. Phenology of the red mangrove, *Rhizophora mangle* L., in the Caeté Estuary, Pará, equatorial Brazil. **Aquatic Botany**, v. 84, n. 2, p. 158-164, 2006.

MOTA, G. V. *et al.* Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

MOURA, M. do N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 475-483, 2012.

MOURA, M. do N.; VITORINO, M. I.; ADAMI, M. Análise de componentes principais da precipitação pluvial associada à produtividade de soja na Amazônia legal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

NADELHOFFER K. J, RAICH J. Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems. **Ecology**, v. 73, n. 4, p. 1139–1147, 1992

NASCIMENTO, B. D. C. do; RUIVO, M. de L. P., CASTRO, R. M. da S.; BERREDO, J. F. Variação da composição química do solo e das folhas de mangue (*Rhizophora mangle*) em manguezal no nordeste paraense. In: **Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais**. 1 ed. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, p. 280. 2015.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996.

POOL, D. J.; LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. Litter production in mangrove forests of southern Florida and Puerto Rico. In: WALSH, G. E.; SNEDAKER, S. C.; TEAS, H. J. (Eds.). **International Symposium Biology and Management of Mangroves**. Florida. Proceeding. Florida: IFAS, 1975. p.213-299, 1975.

RANI, V., SREELEKSHMI, S., PREETHY, C. M., BIJOY NANDAN, S. Phenology and litterfall dynamics structuring Ecosystem productivity in a tropical mangrove stand on South West coast of India. **Regional Studies in Marine Science**, v. 8, p. 400-407, 2016.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

GUADALUPE, R. J. E., PÉREZ, P., MARTÍN, L. U. E., & ALEJANDRO, M. Z. Litterfall production and retrospective analysis of satellite images of mangrove coverage in the coast of Jalisco, Mexico. **SOE**, v. 21, p. 11. 2017.

ROSS, M. S., RUIZ, P. L., TELESNICKI, G. J., MEEDER, J. F. Estimating above-ground biomass and production in mangrove communities of Biscayne National Park, Florida (USA). **Wetlands Ecology and Management**, v. 9, n. 1, p. 27-37, 2001.

SANTOS, Rita de Cassia Oliveira dos *et al.* Riqueza e abundância de galhas em espécies arbóreas de mangue, com ênfase em *Avicennia germinans* (L.) Stearn (Acanthaceae), na península de Ajuruteua, Bragança, Pará, Brasil. 2011.

SILVA, A. K. L., VASCONCELOS, S. S., CARVALHO, C. J. R. CORDEIRO, I. M. C. C. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobiumparahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. **Plant and Soil**, v. 347, p. 377-386, 2011.

SODRÉ, G. R., VITORINO, M. I., COHEN, J. C. P., MORAES, B. C. Estudo observacional da convecção de mesoescala em diferentes superfícies no estado do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p. 1281-1293, 2015.

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

VIERA, M., SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 225-233, 2010.

### **3 VARIAÇÃO TEMPORAL DO VENTO E SUA INTERAÇÃO COM A PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA EM MANGUEZAL DA AMAZÔNIA**

**Resumo:** Com o objetivo de caracterizar a variação temporal da direção e velocidade do vento e sua influência na produção espaço-temporal de serapilheira em um manguezal da costa amazônica foram delimitadas 3 parcelas amostrais e instalados 4 coletores de serapilheira com 1 m<sup>2</sup> para coletas mensais. A serapilheira foi classificada nas frações folha, lenhoso e material reprodutivo (flor, fruto, propágulos + estípula), seca a 65 °C e pesada. Foram medidas e identificadas todas as espécies de mangue dentro de cada parcela com DAP  $\geq 2,5$  cm e indivíduos com altura superior a 1 m. Foram utilizados dados de velocidade e direção do vento da Torre Micrometeorológica da UFRA. A frequência dos ventos foi agrupada em 16 setores de direção e 6 classes de velocidade plotados em rosa dos ventos. Para estrutura do mangue foi calculado Área Basal, Densidade Relativa e Dominância Relativa. Para avaliar a variabilidade de serapilheira ao longo do tempo e espaço em relação a velocidade do vento, foi aplicado a Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP). A distribuição mensal de direção do vento mostrou predominância no setor leste (E), frequência de ventos com maior velocidade foram registrados no segundo semestre (acima de 3 m/s). Nas parcelas estudadas ocorreram três espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*. Parcela A apresentou o melhor desenvolvimento estrutural e todas as parcelas apresentaram produção de serapilheira ao longo do ano. A ACP mostra em 4 componentes correlação negativa com material reprodutivo e correlação positiva com lenhoso associado a variação temporal de ventos e de precipitação pluvial. Para folha a correlação não apresentou significância estando a produção desta fração sujeita a outras variáveis meteorológicas. Contudo, mesmo o vento não apresentando correlação significativa com a serapilheira, está variável associada a estrutura do mangue contribui para sua produção.

**Palavras-chave:** Manguezal, Serapilheira, Velocidade do Vento, Costa Amazônica.

**Abstract:** WIND TEMPORAL VARIATION AND LITTERFALL PRODUCTION INTERACTION IN MANGROVE OF THE AMAZON. Aiming to characterize the temporal variation of wind direction and speed and its influence on the spatiotemporal production of litterfall in a mangrove of the Amazon coast, 3 plots were delimited and 4 traps with 1 m<sup>2</sup> for monthly collections. The litterfall was classified in the fractions leaf, wood and reproductive material (flower, fruit, propagules + stipules), oven-dried at 65 °C and weighed. All mangrove species were measured and identified within each plot with diameter  $\geq 2.5$  cm and individuals with a height greater than 1 m. Direction and wind speed data were used for the

Micrometeorological Tower of UFRA. The frequency of the winds was grouped in 16 sectors of direction and 6 classes of speed plotted in wind roses. For the mangrove structure, Basal Area, Relative Density and Relative Dominance were calculated. To evaluate the variability of litterfall over time and space in relation to wind speed, the Principal Components Analysis (PCA) was applied. The monthly distribution of wind direction showed predominance in the eastern (E), frequency of winds with higher velocity were recorded in the second semester (above 3 m/s). In the studied plots three species *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* and *Laguncularia racemosa* occurred. A plot presented the best structural development and all plots showed litter production throughout the year. The PCA shows in 4 components negative correlation with reproductive material and positive correlation with wood associated with the temporal variation of winds and rainfall. Leaf, the correlation did not present significant being the production of this fraction subject to other meteorological variables. However, even wind presenting no significant correlation with the litter, is variable associated with the structure of the mangrove contributes to its production.

**Keywords:** Mangrove, Litterfall, Wind Speed, Amazon Coast.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A costa amazônica brasileira situada na linha equatorial é coberta pela maior faixa contínua de manguezais do mundo e sua planície permite a livre entrada dos ventos alísios no interior da Amazônia (FREITAS, 2004; SOUZA FILHO, 2005). Esses ventos alísios são gerados através da circulação geral da atmosfera sob efeito da célula de Hadley e são provenientes dos hemisférios norte e sul chamados, respectivamente, de alísios de nordeste e alísios de sudeste (HARTMANN, 1994; REBOITA *et al.*, 2010).

O vento é o movimento do ar em relação à superfície terrestre, processando-se tanto no sentido horizontal quanto vertical, variando em termos de velocidade e direção de acordo com seus fatores controladores. Tais fatores controladores do vento em regiões costeiras podem ser de mecanismos de circulação de meso à larga escala, tais como Circulação de Brisa, Atividades Convectivas e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (MATTIUZZI; MARCHIORO, 2012; MOURA; VITORINO, 2012).

A interação dos ventos com os manguezais da costa amazônica ainda é pouco estudada, por isso torna-se importante compreender o efeito da direção e velocidade dos ventos na produção de serapilheira dessas florestas de mangue que predominam nesse litoral (MORAIS *et al.*, 2014; ROCKETT *et al.*, 2017).

A serapilheira do manguezal é todo material vegetal e animal que é depositado sobre o solo da floresta, constituído por folhas, parte lenhosa (galhos, caule, cascas), estípula e material reprodutivo (flores, frutos, propágulos e sementes), além de animais mortos e fezes (FERNANDES *et al.*, 2007; GOLLEY, 1983; SILVA *et al.*, 2011). Essa serapilheira compõem um complexo sistema de ciclagem de nutrientes que fornecem ao ecossistema nutrientes fundamentais para sua manutenção (LAANBROEK *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Pesquisas realizadas na região costeira da Amazônia, apontam que a precipitação pluviométrica é uma das variáveis com maior influência na produção de serapilheira dos manguezais e na estrutura da floresta como altura e área basal (FERNANDES, 2003; FERNANDES *et al.*, 2007; MATNI *et al.*, 2006; MEHLIG, 2006; SALES *et al.*, 2009; SEIXAS *et al.*, 2006). Todavia, ainda são escassos os estudos sobre a interação da dinâmica do vento com a produção de serapilheira.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo caracterizar a variação temporal da direção e velocidade do vento e sua influência na produção espaço-temporal de serapilheira em um manguezal da costa amazônica.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODO

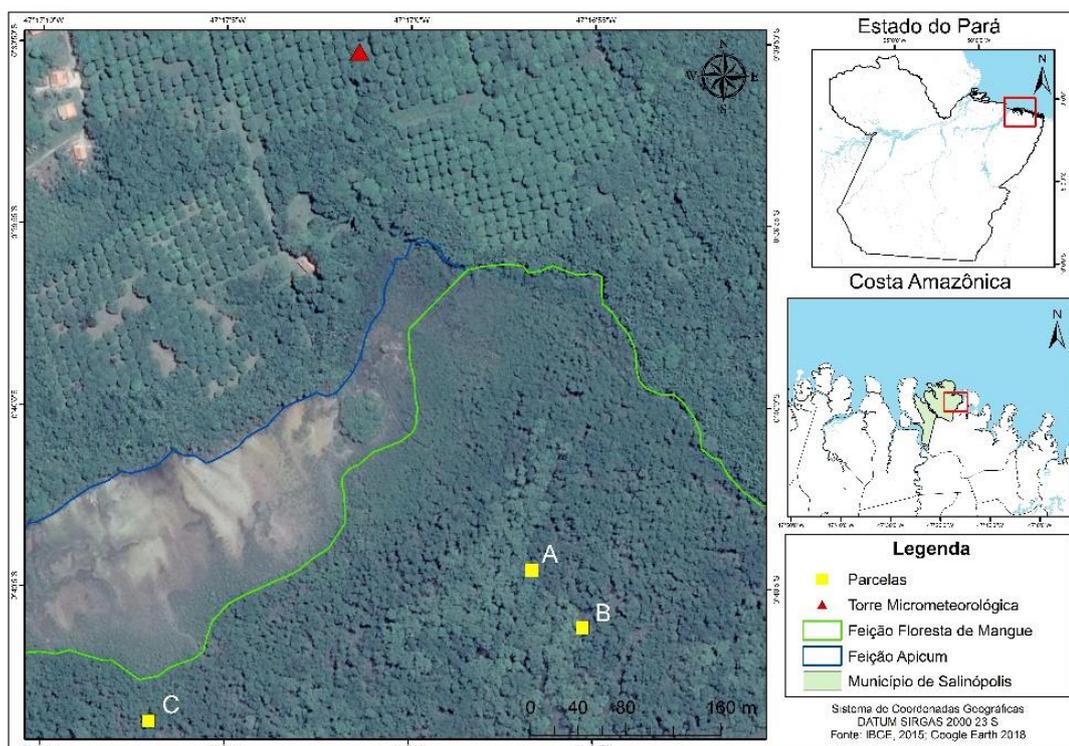
### 3.2.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado no Sítio Experimental de Cuiarana, pertencente a Universidade Federal do Pará - UFPA e a Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, localizado na Comunidade de Cuiarana (00°39'36"S e 47°15'35"W), município de Salinópolis, costa amazônica do estado do Pará.

O manguezal da área de estudo apresenta feição de floresta de mangue com diferentes espécies arbóreas e uma feição de Apicum caracterizada como uma planície hipersalina, com textura areno-lamosa. No ecótono destas duas feições observa-se ainda a presença de mangue anão, com altura média de 2 metros (BRASIL, 2018).

A região apresenta um sistema de macromarés (4 a 6 m de altura máxima), com regime semidiurno. O manguezal em estudo é totalmente inundado apenas nas marés de sizígia e apresenta um relevo entrecortado por canais (*creeks*) que acompanham o nível da maré, permitindo a entrada de água salina no manguezal durante as marés de quadratura (BARBOSA *et al.*, 2015; SOUZA FILHO *et al.*, 2005).

Figura 7- Localização da Área de estudo no manguezal de Cuiarana, Salinópolis.



### 3.2.2 Coleta de dados

Na floresta de mangue foram delimitadas 3 parcelas amostrais de 20 m x 20 m denominadas de A, B e C (Figura 7). Em cada parcela foram instalados aleatoriamente 4 coletores de serapilheira suspensos a 1,5 m do solo, cada um com área de coleta de 1 m<sup>2</sup>. As coletas de serapilheira foram realizadas mensalmente, de agosto de 2017 a julho de 2018.

As amostras foram classificadas nas seguintes frações: (a) folha, (b) lenhoso, (c) material reprodutivo (flor, fruto, propágulos + estípula). Após a classificação, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até atingir peso constante, e posteriormente pesadas em balança com precisão de 0,01 g. Foi calculada a produção média mensal de serapilheira para cada fração (FERNANDES *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2011).

Para a caracterização da estrutura da vegetação foi adaptada a metodologia descrita por Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986). Foram medidas e identificadas todas as espécies de mangue dentro de cada parcela com DAP  $\geq$  2,5 cm (diâmetro a altura do peito a 1,30 m do solo) e indivíduos com altura superior a 1 m. Indivíduos mortos não foram contabilizados.

Para descrever a velocidade e direção do vento durante o período do experimento, utilizaram-se dados horários de vento (m/s) obtidos a partir da média dos dados a cada 10 minutos de um anemômetro instalado a 12 m de altura na Torre Micrometeorológica da

UFRA localizado dentro do Sítio Experimental de Cuiarana a aproximadamente 400 m das parcelas amostrais.

### 3.2.3 Análise de dados

Para análise da frequência de direção e velocidade dos ventos da área de estudo, os dados horários foram calculados e agrupados quanto a sua ocorrência dentro de 16 setores de direção (norte N; norte-nordeste NNE; nordeste NE; leste-nordeste ENE; leste E; leste-sudeste ESSE; sudeste SE; sul-sudeste SSE, sul S; sul-sudoeste SSW; sudoeste SW; oeste-sudoeste WSW; oeste W; oeste-noroeste WNW; Noroeste NW; norte-noroeste NNW) e 6 classes de velocidade em m/s (calmaria; 0.10 - 1.00; 1.00 - 2.00; 2.00 - 3.00; 3.00 - 4.00; 4.00 - 5.00) (PEARCE; WALKER, 2005; ROCKETT *et al.*, 2017).

Posteriormente, foi realizada a representação gráfica por meio da rosa dos ventos, apresentando a distribuição da frequência percentual dos ventos por direções. Para a análise estatística e plotagem da rosa dos ventos foi utilizado o *software* WRPLOT ([www.lakes-environmental.com](http://www.lakes-environmental.com)).

Para a estrutura da floresta, foram calculados a Área Basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ), Densidade Relativa (%) e Dominância Relativa (%) de cada espécie (CARVALHO; JARDIM, 2017). Para avaliar a variabilidade de serapilheira ao longo do tempo e espaço em relação a velocidade do vento, foi aplicado a Análise Fatorial em Componentes Principais (ACP). Assim, foram utilizados os dados mensais de produção de serapilheira das frações folha, lenhoso e material reprodutivo e a velocidade do vento com maior frequência mensal.

Os dados foram organizados em uma matriz de covariância no modo S ( $n \times k$ ), onde  $n$  corresponde ao tempo (12 meses/linhas), e  $k$  corresponde as variáveis de vento e serapilheira das 3 parcelas estudadas (12 variáveis/12colunas), ou seja, a matriz original corresponde a 12 valores temporais e 12 valores espaciais. Os mapas espacializados dos autovetores foram gerados através do método da Krigagem, para a avaliação simultânea com os autovalores. (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; MOURA *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2016; WILKS, 2006).

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Análise de características do vento

Ventos com magnitudes acima 3,00 m/s ocorrem com maior frequência durante o segundo semestre do ano, destacando-se o trimestre de setembro-novembro (SON). E, ventos

com magnitudes abaixo de 3,00 m/s ocorrem com maior frequência no primeiro semestre, onde o trimestre de março-maio (MAM) apresenta maiores ocorrências na classe entre 0,10 – 1.00 m/s e calmarias.

A magnitude desses ventos locais está associada com o fluxo médio dos ventos alísios que através do deslocamento das cristas subtropicais pode alterar a velocidade da circulação local (BAPTISTA, 2003; CAVALCANTI, 1982; UVO, 1889). Além disso, devido a proximidade com o oceano, a circulação de brisa marítima (BM) atua no mesmo quadrante de direção da média de fluxo dos alísios, intensificando a velocidade dos ventos (ATKINSON, 1981; COSTA; LYRA, 2012; FRIZZOLA; FISHER, 1963; GERMANO *et al*, 2017; SANTOS *et al.*, 2013).

Ventos com velocidades menores são mais frequentes durante a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em MAM. De acordo com Moura e Vitorino (2012) e Moura *et al.* (2018) a ZCIT atua na costa amazônica nesse período, e devida a alta atividade convectiva associada a este sistema, o fluxo médio de ventos pode sofrer atenuação, conhecido por zona de calmaria, reduzindo assim a magnitude do vento que entra na costa (GERMANO *et al*, 2017; NOBRE, SHUKLA, 1996).

Tabela 4- Distribuição mensal da frequência de vento em diferentes classes durante o período de estudo.

Meses	Distribuição da frequência de ventos (%)					
	Classes de velocidade do vento (m/s)					
	Calmaria	0.10 - 1.00	1.00 - 2.00	2.00 - 3.00	3.00 - 4.00	4.00 - 5.00
ago/17	0.1	5.0	30.2	38.4	23.8	2.3
set/17	0	2.1	18.2	40.4	31.8	7.4
out/17	0	0.3	16.8	47.4	31.0	4.3
nov/17	0	1.1	18.1	52.4	26.9	1.4
dez/17	0	3.6	26.1	47.6	21.4	1.2
jan/18	0.1	15.7	27.7	47.3	9.0	0.0
fev/18	0.1	26.3	39.4	31.0	3.0	0.0
mar/18	0.2	19.6	28.4	40.3	11.0	0.3
abr/18	1.8	43.85	34.3	19.6	0.6	0.1
mai/18	1	36.4	38.2	23.1	1.1	0.0
jun/18	0.3	21.3	37.9	31.9	8.1	0.4
Jul/18	0.5	18.5	29.8	32.9	17.2	0.8

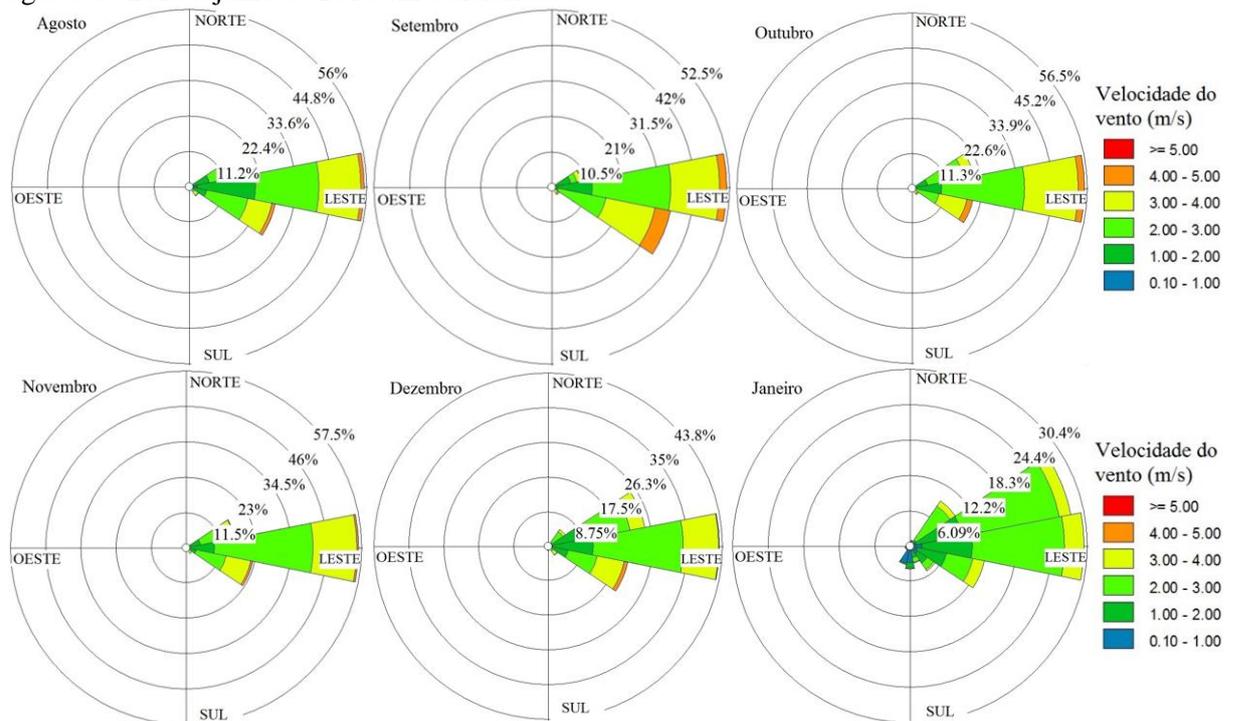
A distribuição anual de casos de direção do vento mostrou maior predominância dos ventos no setor leste (E), com maior percentual de 37 % como observado também por Germano *et al* (2017). Em seguida, estão os ventos do setor leste-sudeste (ESE) com 20% e o setor leste-nordeste (ENE) com 17%, os demais 26 % estão distribuídos em outros setores com frequências menos significativas.

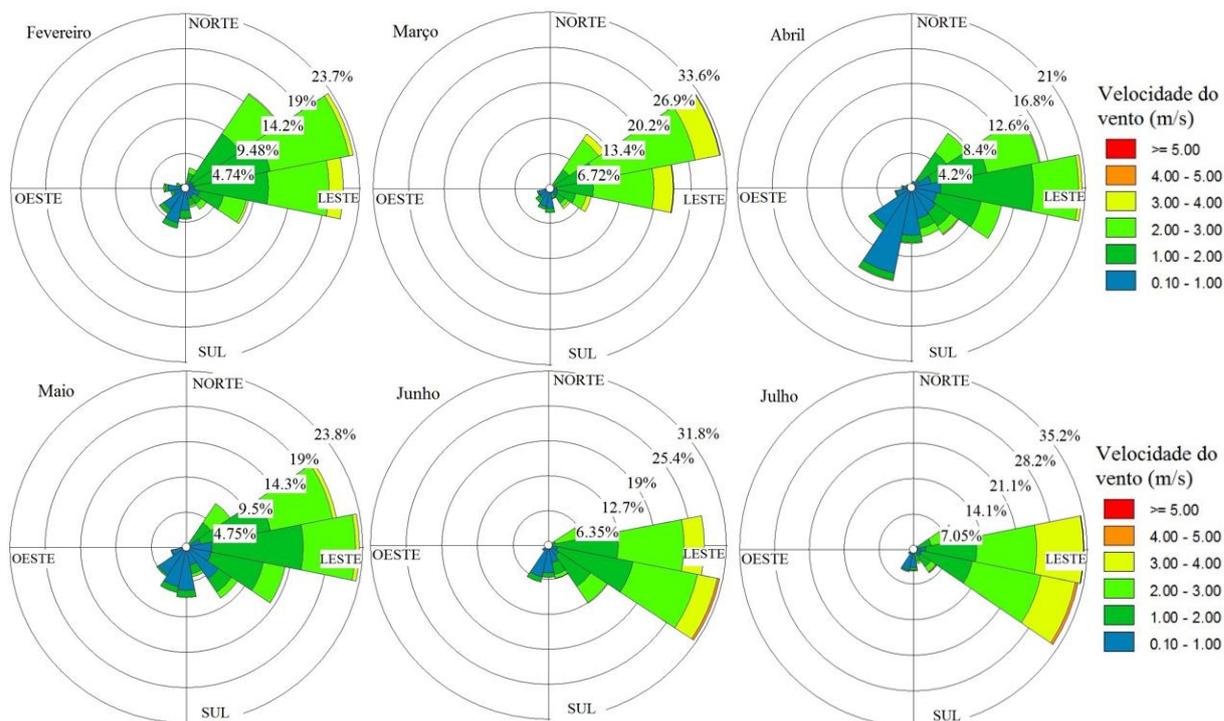
A Figura 8 apresenta a rosa dos ventos com direção e frequência de vento para cada mês entre agosto de 2017 e julho de 2018. De agosto até dezembro observa-se predominância de direção dos ventos no setor E com até 57% de frequência de ventos registrado em novembro. O deslocamento da ZCIT mais para norte permite a livre entrada dos ventos alísios provenientes de E paralelos a costa amazônica que se soma com a brisa marítima (GERMANO *et al.*, 2017; MOURA *et al.*, 2018; MOURA; VITORINO, 2012).

De janeiro a maio, observa-se predominância de direção dos ventos no setor ENE, com até 33% em março. Nesse período também há registros significativos de ventos no setor sul-sudoeste (SSW), onde abril apresentou maior percentual para este setor (11,5%). Durante esses meses, a atenuação dos ventos alísios torna mais perceptível a influência da brisa terrestre, principalmente no trimestre de MAM, observada principalmente durante a madrugada 0900-0300 UTC (GERMANO *et al.*, 2017).

Em junho e julho, observa-se predominância de direção do vento no setor ESE, com 31% e 35%, respectivamente. O que caracteriza atuação de brisa marítima e ainda de brisa terrestre pronunciada. De forma geral, essas diferenças sazonais na velocidade e direção do vento estão diretamente relacionadas com a intensificação da Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul (BAPTISTA, 2003; GERMANO *et al.*, 2017).

Figura 8- Rosa dos ventos demonstrando a direção e frequência dos ventos durante o período de agosto de 2017 a julho de 2018 em Cuiarana.





### 3.3.2 Descrição dos parâmetros estruturais e produção de serapilheira

Nas 3 parcelas estudadas ocorreram três espécies típicas de mangue: *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae), *Avicennia germinans* (L.) Stearn 1958 (Avicenniaceae) e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. (Combretaceae). *R. mangle* foi a espécie mais abundante em todas as parcelas, seguida pela espécie *A. germinans* e *L. racemosa*. A parcela A apresentou o maior número de indivíduos, diâmetro médio e área basal. Já a parcela B apresentou maior altura média e a parcela C a menor (Tabela 5).

Carvalho e Jardim (2017) encontraram valores similares ao do presente estudo na mesma área de manguezal em Cuiarana com valores médios aproximados de DAP e altura em 21,9 cm e 9,5 m, respectivamente. Sales *et al.* (2009) também encontraram valores de estrutura similares em uma floresta de mangue em Marapanim na costa amazônica, onde *R. mangle* apresentou maior densidade relativa e *A. germinans* maior altura média. Já em outra floresta de mangue da região localizada em Bragança, *A. germinans* apresentou maior altura média, área basal e densidade relativa (SEIXAS *et al.*, 2006).

Alguns estudos sobre estrutura de manguezal na costa amazônica indicam que *R. mangle* é a espécie mais dominante, principalmente em áreas da costa sob maior influência de marés e salinidade, concordando com os valores estruturais obtidos neste trabalho (ABREU *et al.*, 2006; BASTOS; LOBATO, 1996; BERGER *et al.* 2008; MATNI *et al.*, 2006; MENEZES *et al.*, 2008; SALES *et al.*, 2009; SEIXAS *et al.*, 2006).

Porém, Carvalho e Jardim (2017) afirmam que no mangue em Cuiarana, *A. germinans* apresentou melhor desenvolvimento estrutural e maior densidade e dominância, apresentando-se como a espécie arbórea mais importante deste manguezal. Como *R. mangle* e *A. germinans* são altamente adaptada a ambientes salinos, sua presença e alto grau de desenvolvimento na costa amazônica é comum (CARVALHO; JARDIM, 2017; MATNI *et al.*, 2006; MEHLIG, 2006; SALES *et al.*, 2009; SEIXAS *et al.*, 2006).

Para a produção de serapilheira mensal, a fração folha apresentou maior quantidade em agosto de 2017 nas 3 parcelas estudadas demonstrando uma sincronia de produção. A fração lenhosa, apresentou maior produção em abril na parcela A, em junho na parcela B e em março na parcela C, evidenciando uma produção aleatória desta fração. Contudo, a fração de material reprodutivo apresentou maior quantidade no trimestre de MAM nas 3 parcelas (Tabela 6).

Através de vários estudos, Menezes *et al.* (2008) explicaram que o material reprodutivo apresenta picos de produção no período mais chuvoso da região costeira da amazônica para as 3 espécies de mangue *R. mangle*, *A. germinans* e *L. racemosa*, especialmente os frutos e propágulos. No entanto para a fração folha os autores demonstram picos de produção particular para cada espécie, o que remete características fenológicas diferentes entre elas.

Tabela 5- Dados estruturais das parcelas estudadas. Dados médios  $\pm$  erro padrão.

Parcela Espécie	Nº de Ind.	Altura (m)	Diametro Altura do peito (cm)	Área Basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Densidade Relativa (%)	Dominância Relativa (%)
Parcela A	24	10.6 $\pm$ 1.6	16.2 $\pm$ 2.3	0.7264	-	-
R. mangle	12	8.4 $\pm$ 1.9	12.7 $\pm$ 2.8	0.2359	50	32.5
A. germinans	4	13.5 $\pm$ 2.5	19.5 $\pm$ 8.7	0.1909	16.7	26.3
L. racemosa	8	12.5 $\pm$ 3.0	19.7 $\pm$ 3.0	0.2997	33.3	41.3
Parcela B	15	12.9 $\pm$ 2.0	15.3 $\pm$ 0.7	0.3833	-	-
R. mangle	6	16.3 $\pm$ 1.8	16.3 $\pm$ 3.3	0.1499	40	39.1
A. germinans	6	11.2 $\pm$ 2.3	13.9 $\pm$ 4.7	0.1444	40	37.7
L. racemosa	3	9.8 $\pm$ 2.6	16.1 $\pm$ 7.7	0.0890	20	23.2
Parcela C	19	8.0 $\pm$ 2.0	10.9 $\pm$ 3.0	0.2310	-	-
R. mangle	11	10.4 $\pm$ 1.4	14.5 $\pm$ 1.6	0.2034	57.9	88.1
A. germinans	7	4.8 $\pm$ 0.6	5.9 $\pm$ 1.3	0.0276	36.8	11.9
L. racemosa	1	4.0	5.0	0.0020	5.3	0.9

Tabela 6- Produção mensal de serapilheira em frações (folha, lenhoso e material reprodutivo) e total. Dados médios  $\pm$  erro padrão (n = 4).

Meses	Parcela	Serapilheira (g m <sup>-2</sup> )			
		Folha	Lenhoso	M. Reprodutivo	Total
Ago/2017	A	87.7 $\pm$ 7.8	16.2 $\pm$ 6.2	14.0 $\pm$ 2.7	117.9 $\pm$ 8.3
	B	109.3 $\pm$ 23.4	4.9 $\pm$ 3.3	13.8 $\pm$ 3.6	128.0 $\pm$ 27.4
	C	88.6 $\pm$ 19.8	2.3 $\pm$ 1.2	15.1 $\pm$ 6.2	105.9 $\pm$ 24.5
Set/2017	A	82.6 $\pm$ 25.1	13.0 $\pm$ 6.3	19.2 $\pm$ 3.6	114.7 $\pm$ 33
	B	60.0 $\pm$ 18.8	14.0 $\pm$ 7.3	13.7 $\pm$ 6.9	87.8 $\pm$ 23.3

	C	5.5±0.6	6.1±4.1	1.5±1.5	13.1±3.5
Out/2017	A	86.9±21	12.0±6.2	19.3±3.8	118.3±27.7
	B	37.4±11.6	3.6±2.1	9.3±3.6	50.3±12.8
	C	22.1±15.2	0.1±0.1	19.2±16	41.4±30.8
Nov/2017	A	78.2±18	1.2±0.6	20.8±6.6	100.1±22
	B	50.9±2.2	0.0±0.0	10.8±2.2	61.6±3.9
	C	16.9±6.6	0.4±0.4	16.6±15.1	33.9±21.2
Dez/17	A	64.3±17.2	4.4±2.1	11.3±5.5	79.9±22.8
	B	44.0±13.2	1.1±0.6	8.2±2.1	53.3±14.5
	C	71.1±17.8	5.2±3.9	33.8±27.4	110.0±45.2
Jan/18	A	22.9±6.8	11.2±1.9	16.3±5.3	50.3±8.9
	B	19.5±6.4	4.8±1.6	7.1±1.8	31.4±7.3
	C	20.7±7.3	11.9±6.8	20.8±8.3	53.3±16.7
Fev/18	A	23.1±4.3	7.3±2.0	10.2±6	40.6±3.2
	B	19.3±7	5.7±2.3	12.7±2.4	37.7±10.8
	C	30.0±10.4	4.4±2.2	9.9±2.2	44.4±13.1
Mar/18	A	53.8±8	14.6±1.6	36.8±6.8	105.2±12.5
	B	30.7±10.2	10.3±2.8	39.6±9.8	80.6±10
	C	66.1±15.8	10.7±3.3	12.5±2.1	89.3±19.9
Abr/18	A	34.3±16.3	32.0±15.4	26.9±22.4	93.2±47.4
	B	30.2±9.3	12.7±3.8	33.9±14.2	76.8±19.4
	C	40.7±8.7	3.4±0.7	10.3±3.3	54.3±10.9
Mai/18	A	66.5±19.2	14.2±6.4	18.2±9.5	99.0±27.5
	B	38.6±14.1	9.4±6.7	16.3±13.6	64.4±23.6
	C	84.4±16.1	2.6±1.2	37.1±6.8	124.0±23.1
Jun/18	A	68.0	5.4	22.8	96.2
	B	64.2±10.7	18.7±16.4	9.8±7.8	92.7±31.4
	C	72.5±12	1.9±1.4	13.8±2.5	88.2±15.4
Jul/18	A	73.2	6.2	20.8	100.2
	B	73.5±10	3.6±0.4	17.3±12.9	94.4±22.5
	C	59.8±25.8	6.2±4.4	9.2±5.2	75.1±34.7

Para este estudo, folhas apresentaram-se em maior quantidade no segundo semestre do ano, período este menos chuvoso da região (AMANAJÁS; BRAGA, 2012) e com maior frequência de velocidade do vento acima de 3 m/s (Tabela 1). A Fração lenhoso geralmente não apresenta sazonalidade e seus picos de produção podem estar associados ao regime pluviométrico, rajadas de vento ou até mesmo à herbivoria (FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006; SILVA *et al.*, 2017).

### 3.3.3 Variabilidade espaço-temporal da serapilheira em função da velocidade do vento

A análise de componentes principais extraiu 4 componentes que somados explicam 85% da variação total dos dados de serapilheira (folha, lenhoso e material reprodutivo) e velocidade do vento.

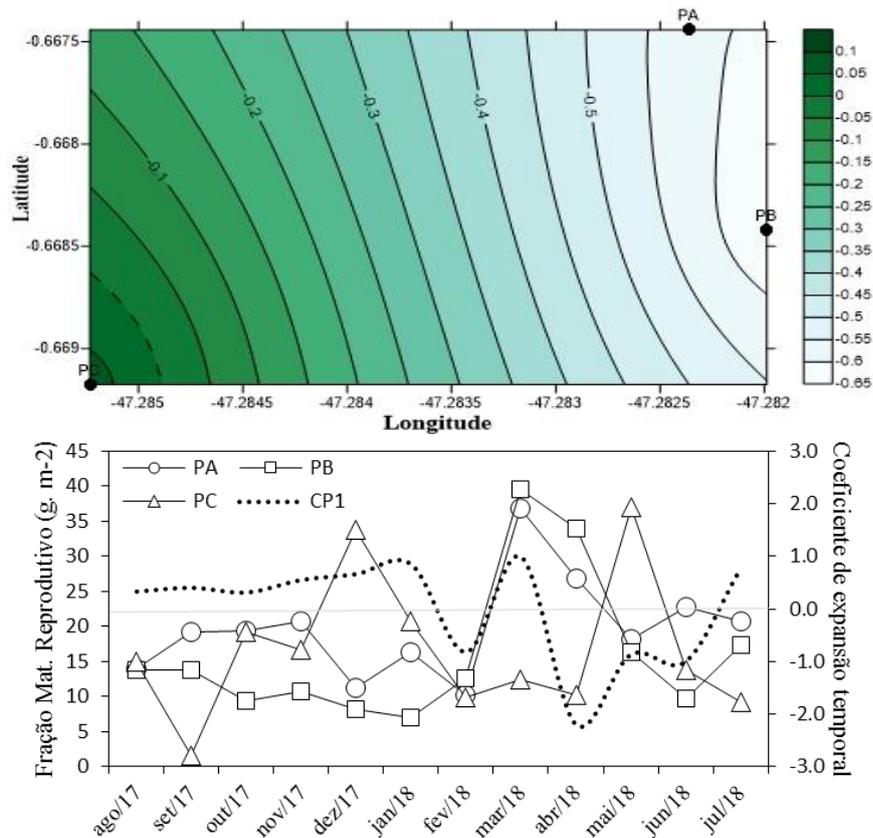
A primeira componente (CP1) explica 39 % da variação total dos dados. O padrão do coeficiente de expansão espacial da CP1 (autovetor) apresentou forte correlação negativa nas parcelas A e B. Esse padrão espacial se destaca principalmente no mês de abril de 2018, onde o coeficiente de expansão temporal (autovalor) apresenta contribuição negativa superior a -2.

Esses padrões apresentam uma relação entre a baixa velocidade do vento em abril (1 m/s) com a alta produção de material reprodutivo nas parcelas A e B (Figura 9).

Bernini e Rezende (2010) também encontraram correlação negativa entre velocidade do vento e frutos das mesmas espécies de mangue deste estudo no sudeste do Brasil. Já em espécies típicas de mangue da costa leste da África, Mchenga e Ali (2017) não encontraram correlação significativa entre essas variáveis.

A atuação da ZCIT na costa amazônica em abril aumenta os índices de precipitação e diminui a velocidade do vento (MOURA *et al.*, 2018; MOURA; VITORINO, 2012). Durante esse período a produção da fração material reprodutivo é elevada devido máxima contribuição de frutos (FERNANDES *et al.*, 2007; JANZEN, 1967; MEHLIG, 2006). Além disso, o melhor desenvolvimento estrutural das parcelas A e B pode contribuir para elevar a produção desta fração.

Figura 9- Padrões de correlação da primeira componente (CP1) com 39 % da variância total explicada e produção de serapilheira (fração material reprodutivo) das parcelas A, B e C.



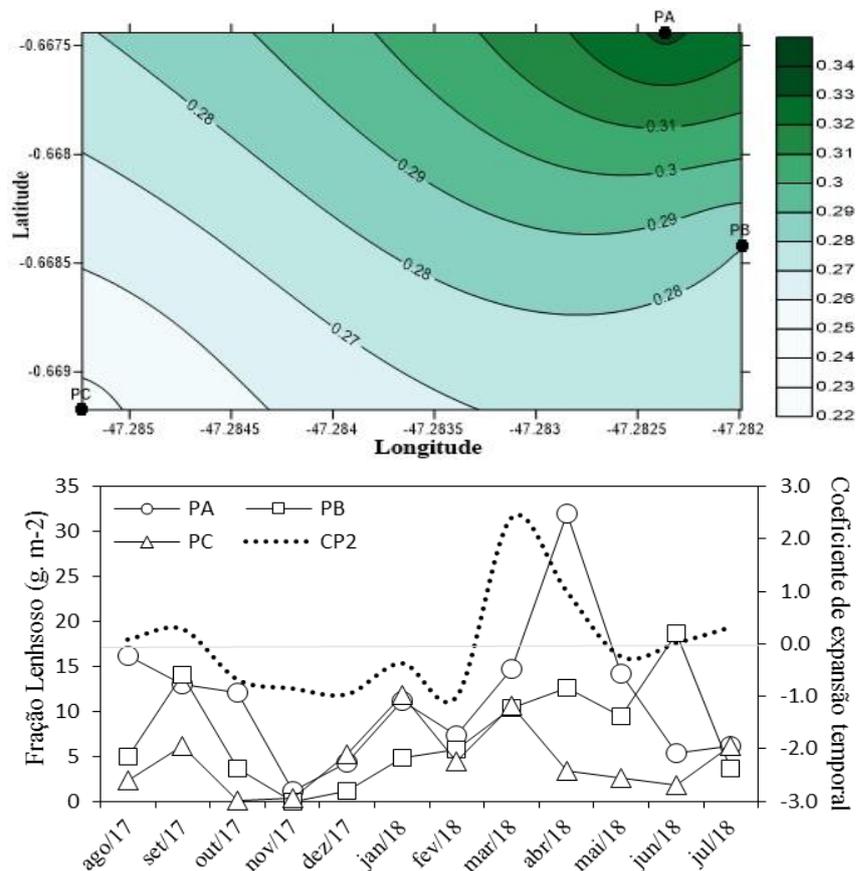
A segunda componente (CP2) explica 19 % da variância total dos dados. Nesse padrão o coeficiente de expansão espacial apresentou correlações positivas e pouca variação entre as

3 parcelas. O coeficiente de expansão temporal destacou o mês de março de 2018, que apresentou contribuição positiva superior a 2. Assim como a CP1, esses padrões também foram influenciados por material reprodutivo, no entanto, a fração lenhoso se destaca como principal (Figura 10).

No trimestre de MAM, a atuação da ZCIT na costa amazônica deveria atenuar a velocidade do vento, porém, para março de 2018 a frequência mais registrada foi de 3 m/s, considerada alta para este período. A ocorrência deste cenário pode ser devido a uma anomalia negativa de precipitação em março de 2018 (INMET, 2018), com isso a diminuição da nebulosidade proporciona livre entrada dos ventos na costa (GERMANO *et al.*, 2017; MOURA; VITORINO, 2012).

Com esse aumento da velocidade do vento, a CP2 apresenta uma correlação positiva entre lenhoso e vento, essa observação provavelmente é explicada com a quebra de galhos mais frágeis, devido a ação das chuvas, pelo vento (MCHENGA; ALI, 2017). Sharma *et al.* (2012) apresenta forte correlação entre lenhoso e velocidade do vento para manguezais da ilha de Okinawa no Japão, explicado principalmente pela passagem de tufões na região que intensificam os ventos e geram quebra de galhos e troncos.

Figura 10- Padrões de correlação da segunda componente (CP2) com 19 % da variância total explicada e produção de serapilheira (fração lenhoso) das parcelas A, B e C.

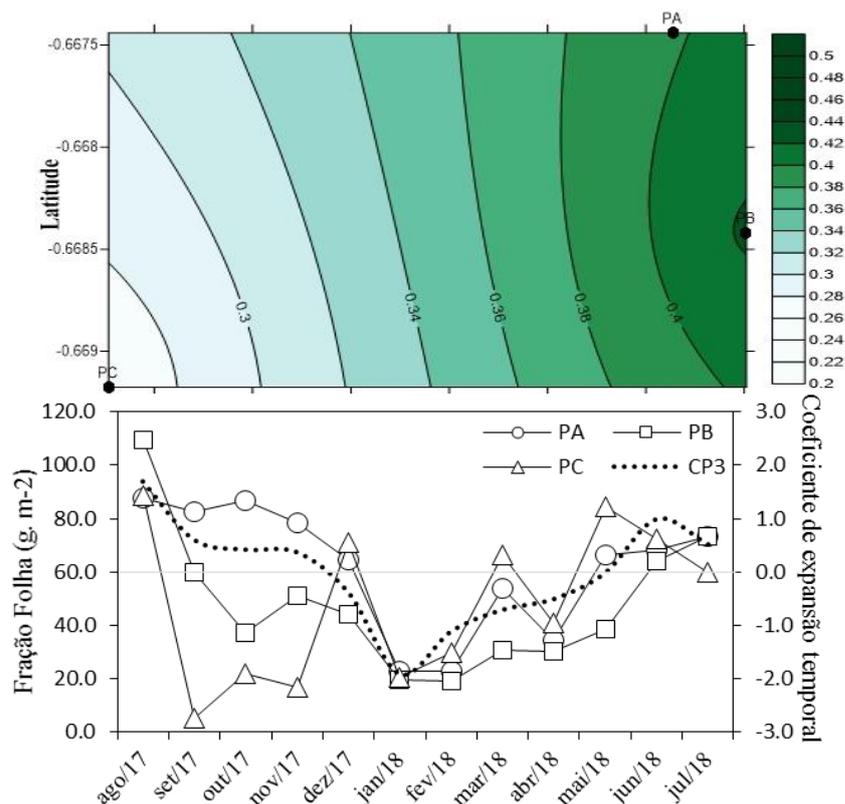


A CP3 explica 17 % da variância total, observa-se maiores correlações pelo coeficiente de expansão espacial nas parcelas A e B. O coeficiente de expansão temporal destacou o mês de agosto 2017 com contribuição positiva acima de 1,5 e o mês de janeiro de 2018 com contribuição negativa acima de -1,5. Esses padrões relacionam a velocidade do vento com a fração folha, explicando que sua maior produção foi em agosto aliado a uma alta velocidade do vento (3 m/s). No entanto, o mesmo padrão também explica que em janeiro a velocidade do vento manteve-se alta porém a produção de folhas foi baixa (Figura 11).

Luzhen Chen *et al.* (2009) também encontraram correlação fraca e negativa entre folhas e velocidade do vento em um manguezal da *Futian Mangrove Nature Reserve* na China. No entanto, outros estudos apontam correlação positiva e significativa entre essas variáveis (BERNINI; REZENDE, 2010; MCHENGA; ALI, 2017; SHARMA *et al.*, 2012).

A variância entre os dois padrões observados revela que a alta produção de folhas possivelmente não está sujeita a velocidade do vento e sim com outras variáveis meteorológicas (FERNANDES *et al.*, 2007; MEHLIG, 2006). No entanto, a força mecânica dos ventos aliado a elevada altura das espécies pode contribuir para queda de folhas e aumentar a produção desta fração (BERNINI; REZENDE, 2010).

Figura 11- Padrões de correlação da terceira componente (CP3) com 17 % da variância total explicada e produção de serapilheira (fração folha) das parcelas A, B e C.

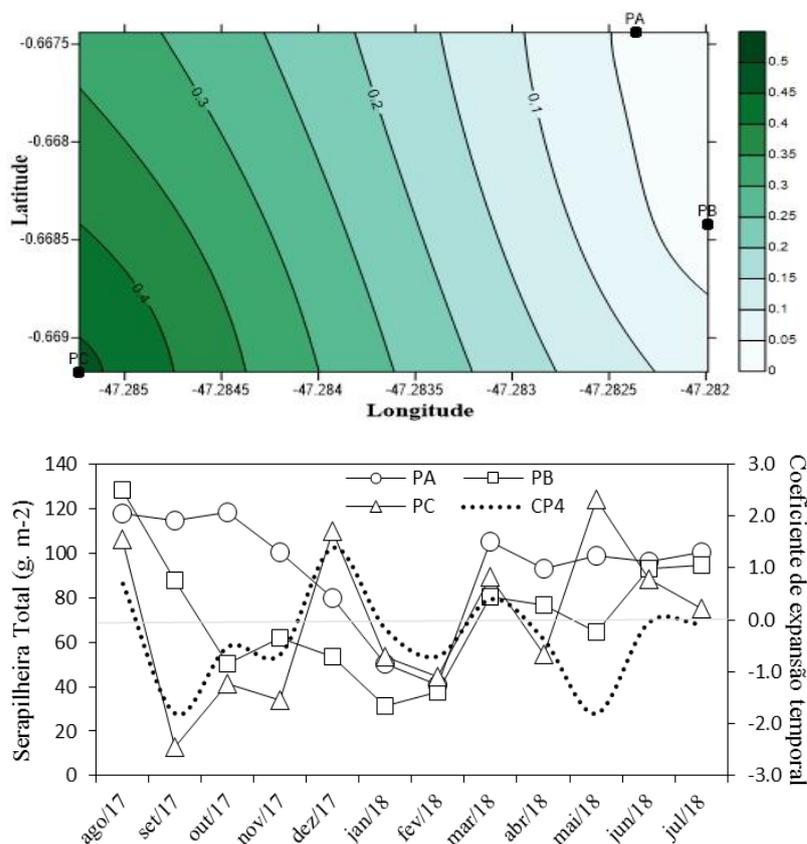


A CP4, explica 12 % da variância total. O coeficiente de expansão espacial apresentou correlação positiva na parcela C com destaque para os meses de setembro de 2017 e maio de 2018 acima de -1.5 pelo coeficiente de expansão temporal. Esses padrões demonstram a serapilheira total (soma de todas as frações) para a parcela C, evidenciando que houve baixa produção em setembro onde a velocidade do vento foi alta (3 m/s) e alta produção em maio onde a velocidade do vento foi moderada (2 m/s) como observado na Figura 12.

Ao analisar a serapilheira total, Bernini e Rezende (2010) encontraram correlação fraca e positiva com a velocidade do vento no sudeste do Brasil. Já Hoque *et al.* (2015) também encontraram fraca correlação, porém negativa entre essas variáveis em um manguezal da Malásia. Mesmos resultados também foram encontrados por Luzhen Chen *et al.* (2009) na China.

Mesmos esses estudos apresentando fraca correlação entre produção de serapilheira e velocidade do vento, Farroqui *et al.* (2012) encontraram forte correlação positiva entre essas variáveis ao analisar um manguezal no sul do Paquistão.

Figura 12- Padrões de correlação da quarta componente (CP4) com 12 % da variância total explicada e produção de serapilheira das parcelas A, B e C.



### 3.4 CONCLUSÃO

Ventos com maiores velocidades são mais frequentes durante o segundo semestre e a direção no setor Leste (E) tem maior predominância ao longo do ano. A velocidade do vento não apresentou influência direta na produção de serapilheira, porém sua atuação associada a sistemas precipitantes como a ZCIT ou a fenômenos extremos como tempestades tropicais ou tufões podem contribuir de forma significativa na queda de folhas, galhos e outras frações.

A estrutura da floresta associada a variação do vento também pode contribuir na queda de serapilheira. Áreas com menos indivíduos e maiores alturas estão sujeitas a maior influência da força mecânica dos ventos sob suas copas contribuindo principalmente para queda de folhas. O material reprodutivo é a fração menos associada com o vento pois está relacionada às características fenológicas de cada espécie e principalmente ao regime pluvial.

### 3.5 REFERENCIAS

ABREU, M. M. O.; MEHLIG, U.; NASCIMENTO, R. E. S. A.; MENEZES, M. P. M. Análise de composição florística e estrutura de um fragmento de bosque de terra firme e de um manguezal vizinhos na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 3, p. 27-34, 2006.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012.

ATKINSON, B.W. **Meso-Scale Atmospheric Circulations**. Academic: San Diego, CA, 412 pp. 1981.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas dos manguezais do Brasil**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176p. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas\\_dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf). Acesso em 05.05.2018.

BAPTISTA, M. C. **Uma análise do campo de vento de superfície sobre o Oceano Atlântico Tropical e Sul usando dados do escaterômetro do ERS**. Dissertação de Mestrado (MSc thesis), INPE, São José dos Campos, Brasil. 2003.

BARBOSA, I. C. C., MÜLLER, R. C. S., ALVES, C. N., BERRÊDO, J. F., SOUZA FILHO, P. W. Composição Química de Sedimento de Manguezal do Estuário Bragantino (PA)-Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1087-1101, 2015.

BASTOS, M. N. C.; LOBATO, L. C. B. Estudos fitossociológicos em áreas de bosque de mangue na praia do Crispim e ilha de Algodual –Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ciências Naturais** v. 8, 1996.

BERGER, U. *et al.* Advances and limitations of individual-based models to analyze and predict dynamics of mangrove forests: a review. **Aquatic Botany**, Amsterdam, n. 89, p. 260-274, 2008.

BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Litterfall in a mangrove in Southeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 4, p. 508-519, 2010.

CARVALHO, E. A. DE; JARDIM, M. A. G. Composição e estrutura florística em bosques de manguezais paraenses, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 923-930, 2017.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. MSc thesis. INPE-2494-TDL/097, São José dos Campos, Brasil. 1982.

CHEN, Luzhen *et al.* Litter dynamics and forest structure of the introduced *Sonneratia caseolaris* mangrove forest in Shenzhen, China. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 85, n. 2, p. 241-246, 2009.

COSTA, G. B, LYRA R. Análise dos padrões de vento no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27 n. 1, p. 31–38, 2012.

DE FREITAS, Marcílio. **Amazônia e desenvolvimento sustentável: um diálogo que todos os brasileiros deveriam conhecer**. Editora Vozes, p. 94. 2004.

FAROOQUI, Z. A. F. A. R., SHAFIQUE, S., KHAN, K. L., ALI, A., IQBAL, P., SIDDIQUI, P. J. Assessment of litter production in semi-arid mangroves forests near active Indus River mouth (Hajambro creek) and Karachi backwaters, Pakistan. **Pak. J. Bot**, v. 44 n. 5, p. 1763-1768, 2012.

FERNANDES, M. E. B. Produção primária: Serapilheira. In: **Os manguezais da costa norte brasileira**. São Luís: Fundação Rio Bacanga, 2003. p.61-78.

FERNANDES, M. E. B., MONTEIRO, A. A. DO N., CARVALHO, M. L. Estimativa da produção anual de serapilheira dos bosques de Mangue no Furo Grande, Bragança-Pará. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, 2007.

FRIZZOLA, J.A., FISHER, E.L. A series of sea breeze observations in the New York City area. **Journal of Applied Meteorology**, v. 2, n. 6, p. 722–739, 1963.

GERMANO, M. F., VITORINO, M. I., COHEN, J. C. P., COSTA, G. B., SOUTO, J. I. D. O., REBELO, M. T. C., DE SOUSA, A. M. L. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. **Atmospheric Science Letters**, v. 18, n. 2, p. 67-75, 2017.

GOLLEY, F. B. Nutrient cycling and nutrient conservation. *In*: AUTORES. **Tropical forest ecosystems: structure and function**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 137-156.

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. Seattle: Academic Press, 1994.

HOQUE, M. M., MUSTAFA KAMAL, A. H., IDRIS, M. H., HARUNA AHMED, O., RAFIQUUL HOQUE, A. T. M., MASUM BILLAH, M. Litterfall production in a tropical mangrove of Sarawak, Malaysia. **Zoology and ecology**, v. 25, n. 2, p. 157-165, 2015.

JANZEN, D. H. Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. **Evolution**, v. 21, p. 620-637, 1967.

LAANBROEK, Hendrikus J. *et al.* Effects of *Rhizophora mangle* leaf litter and seedlings on carbon and nitrogen cycling in salt marshes—potential consequences of climate-induced mangrove migration. **Plant and Soil**, p. 1-18, 2018.

MATNI, A. DOS S.; MENEZES, M. P. M. DE; MEHLIG, U. Estrutura dos bosques de mangue da península de Bragança, Pará, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 3, p. 43-52, 2006.

MATTIUZZI, H. V., MARCHIORO, E. O Comportamento dos Ventos em Vitória (ES): a gestão e interpretação dos dados climatológicos. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 983-993, 2012.

MCHENGA, I. SS; ALI, A. I. Mangrove litter production and seasonality of dominant species in Zanzibar, Tanzania. **Journal of East African Natural History**, v. 106, n. 1, p. 5-18, 2017.

MEHLIG, Ulf. Phenology of the red mangrove, *Rhizophora mangle* L., in the Caeté Estuary, Pará, equatorial Brazil. **Aquatic Botany**, v. 84, n. 2, p. 158-164, 2006.

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

MORAIS, G. M., SOBRINHO, J. E., SANTOS, W. O., COSTA, D. O., SILVA, S. T. A., MANIÇOBA, R. M. Caracterização da velocidade e direção do vento em Mossoró/RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 746-754, 2014.

MOURA, M. DO N., VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 475-483, 2012.

NASCIMENTO, B. D. C. DO; RUIVO, M. DE L. P., CASTRO, R. M. DA S.; BERREDO, J. F. Variação da composição química do solo e das folhas de mangue (*Rhizophora mangle*) em manguezal no nordeste paraense. In: **Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais**. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, p. 280. 2015.

NOBRE P, SHUKLA J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464–2479, 1996.

PEARCE, K. I.; WALKER, I. J. Frequency and magnitude biases in the ‘Fryberger’ model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. **Geomorphology**, v. 68, n. 1-2, p. 39-55, 2005.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

ROCKETT, G. C., TELLES, P., BARBOZA, E. G., GRUBER, N. L. S., SIMÃO, C. E. Análise espaço-temporal dos ventos no extremo norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 44, n. 2, p. 203-219. 2017.

SALES, J. B. D. L., MEHLIG, U., NASCIMENTO, J. R., RODRIGUES FILHO, L. F., MENEZES, M. P. M. D. Análise estrutural de dois bosques de mangue do rio Cajutuba, município de Marapanim, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2009.

SANTOS, S. R. Q., VITORINO, M. I., BRAGA, C.C., CAMPOS, T. B., SANTOS, A.P.. O efeito de brisas marítimas na Cidade de Belém-PA: utilizando análise em Multivariada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 5, p. 1110–1120, 2013.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. **Guia para estudo de áreas de manguezal: estrutura, função e flora**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1986.

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

SHARMA, S. *et al.* Litterfall dynamics in an overcrowded mangrove *Kandelia obovata* (S., L.) Yong stand over five years. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 98, p. 31-41, 2012.

SILVA, A. K. L., VASCONCELOS, S. S., CARVALHO, C. J. R., CORDEIRO, I. M. C. C. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobiumparahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. **Plant and Soil**, v. 347, p. 377-386, 2011.

SILVA, L. L., SANTOS, R. C. O., FERNANDES, M. E. B. Linking *Avicennia germinans* (Acanthaceae) architecture to gall richness and abundance in Brazilian Amazon mangroves. **Biotropica**, v. 49, n. 6, p. 784-791, 2017.

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

UVO, C. R. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. MSc thesis. INPE, São José dos Campos, Brasil. 1989

Wilks, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2. ed. London, Academic Press. 2006

## 4 CONCLUSÃO GERAL

### 4.1 RESULTADOS CHAVES: IMPACTOS E IMPLICAÇÕES

Os manguezais da região costeira da Amazônia estão em constante interação com a dinâmica atmosférica atuante. Em relação ao regime pluviométrico constatou-se que a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT é o sistema precipitante mais importante para a região com acumulado médio de precipitação acima dos 1600 mm no trimestre de MAM.

O período chuvoso caracterizado no primeiro semestre é marcado pela intensa produção de frutos pelo mangue, esse cenário proporciona maior dispersão de sementes e propágulos pelo ambiente, além de oferecer alimentação para a fauna desse ecossistema.

Em relação aos ventos da região, constatou-se que sua maior frequência ao longo do ano é proveniente da direção leste e ventos com maiores intensidades são registrados com maior frequência durante o segundo semestre.

A produção de serapilheira no manguezal foi caracterizada principalmente por dois pontos, alta produção de folhas no segundo semestre e alta produção de material reprodutivo no primeiro semestre. Entretanto, houve produção de serapilheira ao longo de todo o ano.

A espécie *R. mangle*, considerada a mais dominante na área de estudo, apresentou maior contribuição de folhas, e aliado a contribuição das espécies *A. germinans* e *L. racemosa* sua produtividade é similar ao encontrado em diversos manguezais ao redor do mundo.

Essa contribuição significativa de serapilheira é fundamental para a ciclagem de nutrientes do manguezal. Vale ressaltar também, a capacidade desse ecossistema em estocar carbono em sua biomassa e transferi-lo para o solo contribuindo na mitigação ou captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

O uso da Análise de Componentes Principais - ACP proporcionou uma interpretação mais detalhada sobre a interação dos ventos com a produção de serapilheira, com uma percepção espacial entre as parcelas e uma análise temporal durante o período de estudo. As correlações demonstradas colaboraram na conclusão da influência indireta do vento na produção de serapilheira do manguezal.

## 4.2 PRIORIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS

A principal dificuldade em realizar pesquisas de campo em áreas de difícil acesso é a logística. Nesse sentido, caso o projeto de pesquisa possua além de recursos financeiros, uma boa logística, indica-se realizar uma nova pesquisa neste assunto em menores escalas de tempo.

Como visto, este estudo utilizou escala mensal para coleta e tratamento dos dados, porém a utilização de escalas menores, como coletas diárias, apresentarão resultados mais detalhados sobre a interação da produção de serapilheira com as variáveis meteorológicas da região em estudo.

Possíveis eventos extremos de ventos ou precipitação pluvial que ocorrem dentro de um período mensal acabam não sendo percebidos em uma análise nesta escala. No entanto, o monitoramento diário da produção de serapilheira em conjunto com as variáveis meteorológicas podem indicar de forma mais precisa a interação desses sistemas.

O uso de uma torre micrometeorológica na área de estudo contribui significativamente para obtenção de dados mais precisos e leitura em escala temporal adequada aos objetivos do monitoramento. Outras várias meteorológicas também devem ser estudadas como radiação solar, temperatura do ar e umidade. Ademais, para ambientes costeiros, o estudo da interação com a oceanografia do local deve ser levado em consideração, principalmente ao regime de marés e as condições de salinidade que os ambientes estão sujeitos nestas regiões.

## 4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica evidente a importância de pesquisas interdisciplinares no âmbito das ciências ambientais. Esse contexto que engloba diversas áreas instiga os pesquisadores à desenvolver uma macro visão que perceba todas as ciências envolvidas na pesquisa. Tudo isso desperta a curiosidade do conhecimento de áreas que fogem da sua formação e experiência contribuindo para um desenvolvimento científico dentro da transdisciplinaridade.

Em ciências ambientais, existe uma complexa interação entre os diferentes sistemas do meio ambiente. Ciências biológicas, atmosféricas e sociais apresentam uma conexão que apenas uma visão interdisciplinar pode extrair resultados significativos das diferentes problemáticas que transcendem essas ciências.

No contexto da interação biosfera-atmosfera, foi visto como o ecossistema manguezal está sujeito aos sistemas atmosféricos em diferentes escalas de tempo e espaço. Destacar a

precipitação pluvial e a frequência dos ventos foi importante no sentido em que estas variáveis são fatores meteorológicos de relevante impacto para a região costeira da Amazônia. Além disso, a serapilheira tem papel fundamental no processo de ciclagem de nutrientes que contribui para sustentação da qualidade do ecossistema.

Manguezais da Amazônia ainda são pouco estudados e podem apresentar informações científicas à serem utilizadas para fins sociais, econômicos, biológicos e de sua própria preservação. Um olhar mais interdisciplinar sobre esse ecossistema deve ser levado em consideração nas próximas pesquisas para melhor conhecimento da relação desse ambiente com os demais sistemas que ele interage.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. M. O.; MEHLIG, U.; NASCIMENTO, R. E. S. A.; MENEZES, M. P. M. Análise de composição florística e estrutura de um fragmento de bosque de terra firme e de um manguezal vizinhos na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, v. 1, n. 3, p. 27-34, 2006.
- ALONGI, D. M. **Introduction in the energetics of mangrove forests**. New York: Springer Science and Business Media BV, 2009.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012.
- ASHTON, E. C.; MACINTOSH, D. J. Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. **Forest Ecology and Management**, v. 166, n. 1-3, p. 111-129, 2002.
- ASSESSMENT. Millennium Ecosystem. Millennium Ecosystem Assessment (MA): Strengthening capacity to manage ecosystems sustainably for human well-being. World Resources Institute, v. 2005, 2003.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas dos manguezais do Brasil**. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176p. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas\\_dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf). Acesso em 05.05.2018.
- BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; FONTES, R. L. F.; DIAS, L. E.; CAMPELLO, E. F. C. Accumulation and distribution of aboveground biomass and nutrients under pure and mixed stands of *Pseudosamanea guachapele* Dugand and *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p. 2639-2654, 2002.
- BARBOSA, I. C. C.; MÜLLER, R. C. S.; ALVES, C. N.; BERREDO, J. F.; SOUZA FILHO, P. W. Composição química de sedimento de manguezal do estuário Bragantino (PA)-Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1087-1101, 2015.
- BASTOS, M. N. C.; LOBATO, L. C. B. Estudos fitossociológicos em áreas de bosque de mangue na praia do Crispim e ilha de Algodal –Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Sér. Ciênc. da Terra**, v. 8, p. 157-167, 2009.
- BERNINI, E.; SILVA, M. A. B. D.; CARMO, T. M. S. D.; CUZZUOL, G. R. F. Chemical composition of sediments and leaves of mangrove species at the São Mateus river estuary, Espírito Santo State, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 29, n. 4, p. 689-699, 2006.
- BERNINI, E.; REZENDE, C.E. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Bot. Bras.** v. 18, n. 3, p. 491-502. 2004.

BERREDO, J. F., COSTA, M. L., PROGENSE, 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**, Manaus, v. 38, n. 3, p. 473-482, 2008.

CARVALHO, M. L. **Aspectos da produtividade primária dos bosques de mangue do Furo Grande, Bragança-Pará**. 2002. 57f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará, Campus de Bragança-PA, 2002.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. 1982. 133f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, 2494 – TDL/097, São José dos Campos, 1982.

CHAVE, Jérôme *et al.* Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87-99, 2005.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 4, p. 34-40, 1989.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, p. 3163-3174, 1995.

COMLEY, B. W. T.; MCGUINNESS, K. A. Above-and below-ground biomass, and allometry, of four common northern Australian mangroves. **Australian Journal of Botany**, v. 53, n. 5, p. 431-436, 2005.

COSTA, R. S. *et al.* Survival and Growth of Mangrove Tree Seedlings in Different Types of Substrate on the Ajuruteua Peninsula on the Amazon Coast of Brazil. **Open Access Library Journal**, v. 3, n. 07, p. 1-9, 2016.

CUZZUOL, G. R. F.; ROCHA, A. C. Interação do regime hídrico com as relações nutricionais em ecossistema manguezal Interaction of the water regime with nutrients relations in a mangrove ecosystem. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 1, p. 11-19, 2012.

CUZZUOL, G. R. F.; ROCHA, A. C. Interaction of the water regime with nutrients relations in a mangrove ecosystem. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 1, p. 11-19, 2012.

DALY, Herman E.; FARLEY, Joshua. **Ecological economics: principles and applications**. Island press, 2011.

DONATO, Daniel C. *et al.* Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature Geoscience**, v. 4, n. 5, p. 293- 297, 2011.

ELLISON, A. M., FARNSWORTH, E. J., MERKT, R. E. Origins of mangrove ecosystems and the mangrove biodiversity anomaly. **Global Ecology and Biogeography**, v. 8, n. 2, p. 95-115, 1999.

ELLISON, J. C. Long-term retrospection on mangrove development using sediment cores and pollen analysis: a review. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 2, p. 93-104, 2008.

FERNANDES, D. A. J. **Radiação solar na regeneração natural de manguezais do nordeste paraense**. 2106. 87f. 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, 2016.

FERNANDES, M. E. B. Produção primária: Serapilheira. *In*: FERNANDES, M. E. B. (ed.). **Os manguezais da costa norte brasileira**. São Luís: Fundação Rio Bacanga, 2003. p.61-78.

FERNANDES, M. E. B; MONTEIRO DO NASCIMENTO, A. A., LIRA CARVALHO, M. Estimativa da produção anual de serapilheira dos bosques de Mangue no Furo Grande, Bragança-Pará. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 949-958, 2007.

FLORES-VERDUGO, F., GONZÁLEZ-FARÍAS, F., ZAMORANO, D. S., RAMÍREZ-GARCÍA, P. Mangrove ecosystems of the Pacific coast of Mexico: distribution, structure, litterfall, and detritus dynamics. *In*: **Coastal plant communities of Latin America**. 1992. p. 269-288.

SEELIGER, Ulrich (ed.). **Coastal plant communities of Latin America**. San Diego, New York: Academic Press, 1992. P. 269-288.

GERMANO, M. F., VITORINO, M. I., COHEN, J. C. P., COSTA, G. B., SOUTO, J. I. D. O., REBELO, M. T. C., DE SOUSA, A. M. L. Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. **Atmospheric Science Letters**, v. 18, n. 2, p. 67-75, 2017.

GIRI, C., LONG, J., ABBAS, S., MURALI, R. M., QAMER, F. M., PENGRA, B., & THAU, D. CHANDRA *et al.* Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. **Journal of environmental management**, v. 148, p. 101-111, 2015.

GIRI, CHANDRA. OCHIENG, E., TIESZEN, L. L., ZHU, Z., SINGH, A., LOVELAND, T., DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 1, p. 154-159, 2011.

GOLLEY, F. B. Nutrient cycling and nutrient conservation. *In*: GOLLEY, F. B. **Tropical rain forest ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 137-156.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; GROOT, R. de. Natural capital and ecosystem services: the ecological foundation of human society. **Ecosystem Services**, v. 30, p. 105-121, 2010.

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. Seattle: Academic Press, 1994.

HASTENRATH, S. **Climate dynamics of the tropics**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. 488 p.

KATHIRESAN, K.; BINGHAM, Brian L. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. **Advances in Marine Biology**, v. 40, p. 81-251, 2001.

KOMIYAMA, A., ONG, J. E.; POUNGPARN, S. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 2, p. 128-137, 2008.

KUMAR, A., KHAN, M. A., MUQTADIR, A. Distribution of mangroves along the Red Sea coast of the Arabian Peninsula: part 1. The northern coast of western Saudi Arabia. **Earth Science India**, v. 3, n. 1, p. 28-42, 2010.

LAANBROEK, H. J. *et al.* Effects of *Rhizophora mangle* leaf litter and seedlings on carbon and nitrogen cycling in salt marshes—potential consequences of climate-induced mangrove migration. **Plant and Soil**, p. 1-18, 2018.

LACERDA, L. D. *et al.* Mangrove ecosystems of Latin America and the Caribbean: a summary. **Conservation and sustainable utilization of mangrove forest in Latin America and Africa regions. Part I—Latin America**. ITTO/ISME, Okinawa, 1993. p. 1-42.

LIMA, T. M. J.; TOGNELLA, M. M. P. Estrutura e Função dos Manguezais: Revisão Conceitual. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1801, 2012.

LIN, YI-MING *et al.* Nutrient conservation strategies of a mangrove species *Rhizophora stylosa* under nutrient limitation. **Plant and Soil**, v. 326, n. 1-2, p. 469-479, 2010.

LOBATO, G. de J. M. *et al.* Reserva Extrativista Marinha de Soure, Pará, Brasil: modo de vida das comunidades e ameaças ambientais. **Biota Amazônia**, v. 4, n. 4, p. 66-74, 2014.

LOPES, E. C.; ARAUJO, E. C.; COSTA, R.S.; DAHER, R.F., FERNANDES, M.E.B. Crescimento de mudas de mangue sob diferentes níveis de sombreamento na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. **Acta Amazonica**. v. 43, n. 3, p. 291 – 296, 2013.

MAHRT, L. Stably stratified atmospheric boundary layers. **Annual. Ver. Fluid. Mech.** v. 46, p.23–45, 2014.

MATNI, A. S.; MENEZES, M. P. M. de; MEHLIG, U. Estrutura dos bosques de mangue da península de Bragança, Pará, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, v. 1, n. 3, p. 43-52, 2006.

MATTOS, P. P. *et al.* Etnoconhecimento e percepção dos povos pesqueiros da Reserva Ponta do Tubarão acerca do ecossistema manguezal. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 10, n. 4, p. 481-489, 2012.

MEHLIG, U. Phenology of the red mangrove, *Rhizophora mangle* L., in the Caeté Estuary, Pará, equatorial Brazil. **Aquatic Botany**, v. 84, n. 2, p. 158-164, 2006.

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

MORAES, B. C. *et al.* Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazon**, v. 35, p. 207-217, 2005.

MOURA, M. do N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 475-483, 2012.

NASCIMENTO, B. D. C. do; RUIVO, M. de L. P., CASTRO, R. M. da S., BERREDO, J. F. Variação da composição química do solo e das folhas de mangue (*Rhizophora mangle*) em manguezal no Nordeste paraense. In: VIEIRA, Ima Célia Guimarães; JARDIM, Mário Augusto Gonçalves; ROCHA, Edson José Paulino da (org.). **Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais**. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, 2015. p. 280.

NOVA, F. V. P. V. Composição físico-química de solos em espécies arbóreas do ecossistema manguezal. **Acta Geográfica**, v. 11, n. 27, p. 1-19, 2018.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** v. 56, p. 527-530, 1975.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora: Agropecuária, 2002. 478 p.

PLAZIAT, JEAN-CLAUDE, CAVAGNETTO, C., KOENIGUER, J. C., BALTZER, F. *et al.* History and biogeography of the mangrove ecosystem, based on a critical reassessment of the paleontological record. **Wetlands Ecology and Management**, v. 9, n. 3, p. 161-180, 2001.

PRIMAVERA, J. H. Development and conservation of Philippine mangroves: institutional issues. **Ecological Economics**, v. 35, n. 1, p. 91-106, 2000.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185 – 204, 2010.

REEF, R., FELLER, I. C., LOVELOCK, C. E. Mammalian herbivores in Australia transport nutrients from terrestrial to marine ecosystems via mangroves. **Journal of Tropical Ecology**, v. 30, n. 3, p. 179-188, 2014.

REMOUNDOU, K. *et al.* Valuation of natural marine ecosystems: an economic perspective. **Environmental Science & Policy**, v. 12, n. 7, p. 1040-1051, 2009.

RICHERI, Sonia Maria de Melo. **Avaliação do impacto das mudanças climáticas globais nos mangues tropicais**. São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2006. 103p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2006.

RODRIGUES, H. J. B. *et al.* Seasonal variability of the stomatal conductance in Amazonian mangrove ecosystem and their relationships with meteorological variables. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 189-196, 2011.

ROSS, M. S., RUIZ, P. L., TELESNICKI, G. J., MEEDER, J. F. Estimating above-ground biomass and production in mangrove communities of Biscayne National Park, Florida (USA). **Wetlands Ecology and Management**, v. 9, n. 1, p. 27-37, 2001.

SALES, J.B.L.; MEHLIG, U.; NASCIMENTO, J.R.; RODRIGUES FILHO, L.F.; MENEZES, M.P. M. Análise estrutural de dois bosques de mangue do rio Cajutuba, município de Marapanim, Pará, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, v. 4, n. 1, p. 27-35, jan.- abr. 2009.

SANTOS, Rita de Cassia Oliveira dos. **Riqueza e abundância de galhas em espécies arbóreas de mangue, com ênfase em avicennia germinans (L.) Stearn (Acanthaceae), na península de Ajuruteua, Bragança, Pará, Brasil**. 2011. 94 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2011.

SATYANARAYANA, B.; RAMAN, A. V.; MOHD-LOKMAN, H.; DEHAIRS, F.; SHARMA, V. S.; FARID, D. G. Multivariate methods distinguishing mangrove community structure of Coringa in the Godavari Delta, East coast of India. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 12, n. 4, p. 401-408, 2009.

SAVIAN MARAFIGA, Joseane *et al.* Deposição de nutrientes pela serapilheira em um fragmento de Floresta Estacional Decidua no Rio Grande do Sul. **Revista Ceres**, v. 59, n. 6, p. 765-771, nov/dez. 2012.

SEIXAS, J.A.S.; FERNANDES, M.E. B.; SILVA, E.S. Análise estrutural da vegetação arbórea dos mangues no Furo Grande, Bragança, Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, v. 1, n. 3, p. 61-69, set-dez. 2006.

SHAPIRO, A. C.; TRETTIN, C. C.; KÜCHLY, H.; ALAVINAPANAH, S.; BANDEIRA, S. The mangroves of the Zambezi Delta: increase in extent observed via satellite from 1994 to 2013. **Remote Sensing**, v. 7, n. 12, p. 16504-16518, 2015.

SHERMAN, R. E.; FAHEY, T. J.; M, Pedro. Spatial patterns of biomass and above ground net primary productivity in a mangrove ecosystem in the Dominican Republic. **Ecosystems**, v. 6, n. 4, p. 384-398, 2003.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 133-150, 1987.

SILVA, A. K. L.; VASCONCELOS, S. S.; CARVALHO, C. J. R.; CORDEIRO, I. M. C. C. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobiumparahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. **Plant and Soil**, v. 347, p. 377-386, 2011.

SILVA, R. B. C.; SILVA, R. M. Eficiência de uso da água e da radiação em um ecossistema de manguezal no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 104-116, 2006.

SOARES, M. L. G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Above-ground biomass of mangrove species. I. Analysis of models. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 65, n. 1, p. 1-18, 2005.

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

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1759-1776, 2006.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988. 666 p.

UKPONG, I. E. Soil-vegetation interrelationships of mangrove swamps as revealed by multivariate analyses. **Geoderma**, v. 64, n. 1-2, p. 167-181, 1994.

VAN BOCHOVE, Jan-Willem *et al.* **The importance of mangroves to people: a call to action**. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC), 2014.

VANNUCCI, M. **Os manguezais e nós: uma síntese de percepções**. 2 ed. revista e ampliada. São Paulo: Editora CNPq; Universidade de São Paulo, 2003.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*acacia mearnsii* de wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 225-233, 2010.

VITORINO, M. I. **Oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondeletas**. 2003. Tese (Doutorado em Meteorologia) - INPE 9822 - TDI/865, SP, 2003.

WILSON, M. A.; HOWARTH, R. B. Discourse-based valuation of ecosystem services: establishing fair outcomes through group deliberation. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 431-443, 2002.