



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Oceanografia

Lucas Silva Pereira

**Produção de detritos no manguezal de Guaratiba (RJ): o papel dos
controles bióticos e abióticos**

Rio de Janeiro

2022

Lucas Silva Pereira

Produção de detritos no manguezal de Guaratiba (RJ): o papel dos controles bióticos e abióticos

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos oceanográficos na interface continente-oceano.

Orientador: Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares

Coorientador: Prof. Dr. Filipe de Oliveira Chaves

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

P436 Pereira, Lucas Silva.
Produção de detritos no manguezal de Guaratiba (RJ): o papel dos
controles bióticos e abióticos / Lucas Silva Pereira. – 2022.
216 f. : il.

Orientador: Mário Luiz Gomes Soares.
Coorientador: Filipe de Oliveira Chaves.
Dissertação (Oceanografia) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Oceanografia.

1. Ecossistemas - Teses. 2. Manguezal – Guaratiba (Rio de Janeiro,
RJ) - Teses. 3. Salinidade - Teses. 4. Climatologia – Teses. I. Soares,
Mário Luiz Gomes. II. Chaves, Filipe de Oliveira. III. Universidade do
Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Oceanografia. IV. Título.

CDU: 341.7:796(815.3)

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 6390

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Lucas Silva Pereira

**Produção de detritos no manguezal de Guaratiba (RJ): o papel dos controles bióticos e
abióticos**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos oceanográficos na interface continente-oceano.

Aprovada em 22 de agosto de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares (Orientador)

Faculdade de Oceanografia - UERJ

Prof. Dr. Filipe de Oliveira Chaves (Coorientador)

Faculdade de Oceanografia - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Claudia Hamacher

Faculdade de Oceanografia - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Viviane Fernandez de Oliveira

Instituto de Geociências - UFF

Rio de Janeiro

2022

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Selma e Paulo, e aos meus familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, sem sua benção minha trajetória até aqui não seria possível. Agradeço a minha mãe, Selma, por me apoiar e me dar forças em todo o percurso do início da graduação até aqui. Agradeço também ao meu pai, Paulo Sérgio, por toda ajuda que proporcionada neste caminho. Obrigado por nossa família, que em todas as adversidades da vida manteve-se unida. Agradeço a Deus por ter vocês.

Agradeço as minhas irmãs Larissa e Dayanna e minhas tias (Solange, Francisca, Sonia e Sandra) por me apoiarem a todo momento. Vocês foram importantes durante todo o percurso.

Às minhas amigas do ensino médio, Anna Paula e Ketlyn, que me apoiaram em todas etapas até aqui, pela convivência no Rio de Janeiro e todas nossas aventuras. Sou grato a Deus por ter vocês em minha vida. Não é todo dia que temos uma nutricionista e uma defensora pública por perto.

Às velhas amigas Danielle, Janaina, Luzia e Stella, que sempre torceram por mim. Às novas amigas que o Rio de Janeiro me proporcionou, que já considero velhas Fabiane, Tatiane, Thiago, Karina, Ana Carolina, Raquel, Nara, Dani, Fernanda, Jeferson, Brunna, Michelle, Bárbara, Carlos, os afogados.

Um agradecimento especial para Fabiane e Tatiane, que desde 2014 não largam do meu pé. Obrigado pela amizade de vocês, por formarem Os Afogados e por não desistirem dos seus sonhos. Espero estarmos juntos em breve.

Um agradecimento especial para Thiago e Karina, que embarcaram comigo no mestrado. Não foi fácil para nós, não foi como imaginávamos. O primeiro ano foi de incertezas, luto e tristeza. Obrigado por todo apoio durante à pandemia.

Um agradecimento especial para Ana Carolina e Raquel por todo apoio durante a transição da graduação para mestrado, Rio de Janeiro para Arraial do Cabo e por me ouvirem nas mais diversas angustias e situações. Planilhinha do amor e churrasco da Luiza são eternos. Sucesso!

Um agradecimento especial para Michelle e Brunna, amigas que o NEMA proporcionou. Agradeço por toda ajuda dentro e fora da academia, análises estatísticas, campos de 50°C, fofocas, conselhos de vida e por todo apoio. Que vocês continuem sendo quem são.

Ao meu orientador, Dr. Mário Soares, pelo seu zelo e dedicação ao me orientar, pelos excelentes comentários e direcionamento para o desenvolvimento da dissertação, ideias e ser presente. Espero que muitos outros alunos possam ter esta experiência contigo. Sou muito grato por tudo.

Ao meu coorientador, Dr. Filipe Chaves, que me abriu as portas para o NEMA em 2017, foi meu orientador na graduação e confiou em mim para analisar este grande banco de dados de produção de serapilheira. Agradeço todo apoio dado na elaboração desta dissertação.

A todos do NEMA, especialmente os adoradores de triagem, muito obrigado pelo acolhimento e por ajudarem com as coletas, triagens, pesagens do material e digitações dos dados. Aos estagiários e ex-estagiários do NEMA/UERJ, que sempre estiveram disponíveis e com alto astral, e deixaram um vínculo de amizade, em especial Fabi, Tati, Nara, Dani, Alan, Bruno entre tantos outros que vieram antes de mim. A Carol, Maria Rita e Clarisse que percorram todo caminho antes de mim na elaboração de dissertações, artigos e monografias com o monitoramento de serapilheira e por terem me ajudado de diversas formas quando ainda estagiário.

Às professoras Dra. Viviane Fernandez e Dra. Cláudia Hamacher por me acompanharem em todo os processos até a defesa da dissertação, com diversos direcionamentos durante os seminários internos. Obrigado por toda ajuda.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de fomento e demais auxílios.

Ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA), responsável pela Reserva Biológica Estadual de Guaratiba, por autorizar os estudos nos manguezais da região.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) de Guaratiba, pelo auxílio na logística de campo.

À secretaria do PPGOCN, pela simpatia e empatia, auxiliando os alunos da pós de forma exemplar em meio as adversidades da pandemia de COVID-19.

A todos que perderam alguém na pandemia, meu sentimento e meu respeito.

Não abandone a sabedoria, e ela o protegerá; ame-a, e ela cuidará de você.

Provérbios 4:6

RESUMO

PEREIRA, Lucas Silva. *Produção de detritos no manguezal de Guaratiba (RJ)*: o papel dos controles bióticos e abióticos. 2022. 216 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

A produção histórica de serapilheira no manguezal de Guaratiba variou de $8,08 \pm 2,08 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na transição a $12,15 \pm 1,28 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na franja, com maiores contribuições de folhas (58-57%), galhos e ramos (11-20%) e propágulos (8-19%). A salinidade da água intersticial variou de $31,3 \pm 3,0$ na franja a $42,3 \pm 5,5$ na transição. Análises indicam resposta da serapilheira ao gradiente de inundações pelas marés, devido as diferenças encontradas da produção de serapilheira ($F=24,216$, $p < 0,001$) e salinidade ($F=18,544$, $p < 0,001$) entres os tipos fisiográficos; regressões negativas da serapilheira com salinidade ($R^2=0,2160$, $p < 0,05$) e densidade de troncos ($R^2=0,78$, $p < 0,05$); regressões positivas da serapilheira com os parâmetros estruturais DAP médio ($R^2=0,84$, $p < 0,001$) e altura média ($R^2=0,83$, $p < 0,001$). A produção de folhas mostrou-se dependente da área basal e biomassa foliar ($R^2=0,69$, $p < 0,001$). A produção mensal apresentou padrão sazonal de altas produções no verão ($3,14-6,37 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e baixas no inverno ($1,32-2,12 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). Foram identificadas tendências significativas de aumento da produção ao longo de tempo de folhas, flores, propágulos e estípulas, e diminuição de galhos e ramos, que variam conforme os tipos fisiográficos. Correlações significativas positivas entre a serapilheira e variáveis climatológicas temperatura do ar, precipitação, radiação e evapotranspiração potencial foram identificadas. Através da análise de ondaleta foram identificados ciclos de 12, 6-8,5-6 e 4-5 meses, com predominância de ciclo sazonal em toda série na franja e bacia. A praga de lagartas entre 2009/2010 afetou diretamente *A. schaueriana*, com redução da produção de folhas na serapilheira variando de 43-86% de 2009 até o ápice de desfolhação (2011) com redução do impacto ao longo dos tipos fisiográficos, com maiores efeitos na transição. Na franja e bacia, de 2009 a 2011, *L. racemosa* apresentou redução de 52 e 67% de folhas, respectivamente, e aumento de 30% na transição. *R. mangle* aumento em 7% a produção de folhas na bacia, tornou-se presente na transição e reduziu em 25% na franja. O tempo de regeneração de *A. schaueriana* foi de 8 anos. Os resultados ainda refletem o efeito do processo seletivo de desfolhação severa sobre a dinâmica e sucessão ecológica das florestas de mangue.

Palavras-chave: Série temporal; Desfolhação severa; Sucessão ecológica; Tendência; Tipos fisiográficos; Salinidade; Climatológica; Balanço hídrico.

ABSTRACT

PEREIRA, Lucas Silva. *Debris production in the Guaratiba mangrove (RJ): the role of biotic and abiotic controls*. 2022. 216 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Historical litterfall production in the Guaratiba mangrove ranged from $8.08 \pm 2.08 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ at the transition to $12.15 \pm 1.28 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ at the fringe, with major contributions of leaves (58-57%), twigs and branches (11-20%), and propagules (8-19%). Interstitial water salinity ranged from 31.3 ± 3.0 at the fringe to 42.3 ± 5.5 at the transition. Analyses indicate litterfall response to the tidal flooding gradient, due to the differences found in litterfall production ($F=24.216$, $p < 0.001$) and salinity ($F=18.544$, $p < 0.001$) among physiographic types; negative regressions of litterfall with salinity ($R^2=0.2160$, $p < 0.05$) and stem density ($R^2=0.78$, $p < 0.05$); positive regressions of litterfall with structural parameters DBH ($R^2=0.84$, $p < 0.001$) and mean height ($R^2=0.83$, $p < 0.001$). Leaf litter production was dependent on basal area and leaf biomass ($R^2=0.69$, $p < 0.001$). Monthly production showed a seasonal pattern of high production in summer ($3.14\text{-}6.37 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) and low production in winter ($1.32\text{-}2.12 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$). Significant trends of increasing production over time were identified for leaves, flowers, propagules and stipules, and decreasing for branches and twigs, which varied across physiographic types. Significant positive correlations between litterfall and climatological variables air temperature, precipitation, radiation, and potential evapotranspiration were identified. Through wavelet analysis, cycles of 12, 6-8, 5-6 and 4-5 months were identified, with a predominance of seasonal cycle throughout the series in the fringe and basin. Caterpillar outbreak between 2009/2010 directly affected *A. schaueriana*, with a leaf litter production reduction ranging from 43-86% from 2009 to peak defoliation (2011) with reduced impact across physiographic types, with greater effects at the transition. In the fringe and basin, from 2009 to 2011, *L. racemosa* showed a 52 and 67% reduction in leaf litter production, respectively, and a 30% increase at the transition. *R. mangle* increased leaf litter production by 7% in the basin, became present in the transition, and reduced it by 25% in the fringe. The regeneration time of *A. schaueriana* leaf litter production was 8 years. The results still reflect the effect of the selective process of severe defoliation on the dynamics and ecological succession of mangrove forests.

Keywords: Time series; Severe defoliation; Ecological succession; Trend; Physiographic types; Salinity; Climatological; Hydric balance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama ilustrando as principais forçantes que atuam sobre o sistema de manguezal.	28
Figura 2 – Sistema de classificação hierárquica para descrever padrões de estrutura e função de manguezais com base em fatores globais, geomorfológicos (regionais) e ecológicos (locais).	29
Figura 3 – Localização da área de estudo, destacada em vermelho, na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RJ).	36
Figura 4 – Estações de coleta de serapilheira dos tipos fisiográficos franja (P1A, P2A e P3A), bacia (P1C, P2C e P3C) e transição (P1E, P2E e P3E) do manguezal de Guaratiba (RJ).	39
Figura 5 – Tubos de pvc instalados no sedimento para coleta de água ao longo da transversal 2 do manguezal de Guaratiba-RJ. Seta amarela indicando tubo situado na franja.	40
Figura 6 – Estação meteorológica automática da Marambaia-RJ – INMET.	42
Figura 7 – Contribuição relativa dos compartimentos para a produção de serapilheira nas florestas de mangue dos diferentes tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019. Os gráficos menores apresentam a contribuição relativa das espécies de mangue para o compartimento folhas.	53
Figura 8 – Blox-pot da produção média anual de serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) (A) e salinidade da água intersticial média anual (B) entre os anos 2009 e 2019 para os tipos fisiográficos franja, bacia e transição do manguezal de Guaratiba - RJ.	71
Figura 9 – Regressões entre a produção total média anual de serapilheira e: salinidade média anual da água intersticial (A); média histórica da salinidade da água intersticial (B); distância do corpo hídrico (C) e; elevação do terreno (D).	77
Figura 10 – Perfil microtopográficos do manguezal de Guaratiba - RJ.	78
Figura 11 – Produção relativa de folhas por espécies para as estações de (A) franja, (B) bacia e (C) transição do manguezal de Guaratiba-RJ entre 2009 e 2019.	84
Figura 12 – Regressão entre a Contribuição em área basal (%) e a Contribuição de folhas na serapilheira (%) das espécies do manguezal de Guaratiba – RJ.	88
Figura 13 – Regressão entre a Contribuição em biomassa foliar (%) e a Contribuição de folhas na serapilheira (%) das espécies do manguezal do manguezal de Guaratiba – RJ.	89

Figura 14 – Regressão entre o DAP médio (cm) e a Produção média histórica de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) do manguezal de Guaratiba – RJ.....	91
Figura 15 – Regressão entre a Altura média (m) e a Produção média histórica de serapilheira ((t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) do manguezal de Guaratiba – RJ.	91
Figura 16 – Regressão entre a Densidade (tr vivos.ha ⁻¹) e a Produção média histórica de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) do manguezal de Guaratiba – RJ.	92
Figura 17 – Mediana (quadrados internos), quartis superior e inferior (caixas) e intervalo (barras) da densidade (A), DAP médio (B), altura média (C) e área basal (D) por tipo fisiográfico.....	93
Figura 18 – Produção média anual de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019....	96
Figura 19 – Produção média anual de folhas (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.....	97
Figura 20 – Produção média anual de propágulos (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019....	98
Figura 21 – Produção média anual de galhos e ramos (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.	99
Figura 22 – Produção média anual de estípulas (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019..	100
Figura 23 – Produção média anual de flores (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.....	101
Figura 24 – Blox-pot da produção de total de serapilheira nas florestas de transição (A), propágulos nas florestas de franja (B), folhas nas florestas de bacia (C) e folhas nas florestas de transição (D) para os anos em estudos (2009 a 2019) no manguezal de Guaratiba. As letras sobrescritas representam grupos diferentes a partir do pós-teste de Tukey (p<0,05).....	103
Figura 25 – Variação mensal da produção de serapilheira por compartimentos (g.m ⁻² .dia ⁻¹) nas florestas de franja do manguezal de Guaratiba (período 2008-2019).....	106
Figura 26 – Variação mensal da produção de serapilheira por compartimentos (g.m ⁻² .dia ⁻¹) nas florestas de bacia do manguezal de Guaratiba (período 2008-2019).....	107
Figura 27 – Variação mensal da produção de serapilheira por compartimentos (g.m ⁻² .dia ⁻¹) nas florestas de transição do manguezal de Guaratiba (período 2008-2019).....	108

Figura 28 – Produção média diária ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) de galhos e ramos e componente tendência obtida pela decomposição clássica aditiva dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba de agosto/2008 a dezembro/2019.....	113
Figura 29 – Produção média diária ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) de flores e componente tendência obtida pela decomposição clássica aditiva dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba de agosto/2008 a dezembro/2019.	115
Figura 30 – Produção média diária ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) de propágulos e componente tendência obtida pela decomposição clássica aditiva dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba de agosto/2008 a dezembro/2019.....	116
Figura 31 – Produção média diária ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) de estípulas e componente tendência obtida pela decomposição clássica aditiva dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba de agosto/2008 a dezembro/2019.....	118
Figura 32 – (A) Escalograma - Espectro de potência de ondaleta de serapilheira na franja de Guaratiba. O contorno branco no escalograma cerca regiões com nível de significância de 5%, a linha preta indica o máximo de significância. (B) Espectro global de potência para produção de serapilheira na franja. Os pontos vermelhos no gráfico global indicam o valor médio em cada período com nível de significância de 95%.....	123
Figura 33 – (A) Escalograma - Espectro de potência de ondaleta de serapilheira na bacia de Guaratiba. O contorno branco no escalograma cerca regiões com nível de significância de 5%, a linha preta indica o máximo de significância. (B) Espectro global de potência para produção de serapilheira na bacia. Os pontos vermelhos no gráfico global indicam o valor médio em cada período com nível de significância de 95%.....	124
Figura 34 – (A) Escalograma - Espectro de potência de ondaleta de serapilheira na transição de Guaratiba. O contorno branco no escalograma cerca regiões com nível de significância de 5%, a linha preta indica o máximo de significância. (B) Espectro global de potência para produção de serapilheira na transição. Os pontos vermelhos no gráfico global indicam o valor médio em cada período com nível de significância de 95%.....	125
Figura 35 – Contribuição relativa de folhas por espécie na serapilheira (eixo y esquerdo e barras) e produção média anual de folhas na serapilheira ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) (eixo y direito e linha tracejada) dos tipos fisiográficos (A-Franja, B - Bacia e C - Transição) do manguezal de Guaratiba – RJ de 2009 a 2019.....	128

Figura 36 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>R. mangle</i> na franja no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	130
Figura 37 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>A. schaueriana</i> na franja no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	130
Figura 38 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>L. racemosa</i> na franja no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	131
Figura 39 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>R. mangle</i> na bacia no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	133
Figura 40 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>A. schaueriana</i> na bacia no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	134
Figura 41 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>L. racemosa</i> na bacia no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	134
Figura 42 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>R. mangle</i> na transição no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	136
Figura 43 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>A. schaueriana</i> na transição no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	136
Figura 44 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de <i>L. racemosa</i> na transição no período de agosto/2008 a dezembro/2019.....	137
Figura 45 – Produção média anual de folhas por espécie na serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano) dos tipos do manguezal de Guaratiba – RJ de 2009 a 2019.....	139
Figura 46 – Matriz de correlação (Pearson) das componentes tendência na produção de folhas (por espécies), propágulos, galhos e ramos, estípulas e flores na franja (A), bacia (B) e transição (C) do manguezal de Guaratiba-RJ.....	142
Figura 47 – Componente tendência da produção de folhas por espécies e galhos e ramos das florestas de franja (A), bacia (B) e transição (C) do manguezal de Guaratiba - RJ entre 2008 e 2019.....	144
Figura 48 – Modelo de influência de praga de lagartas sobre a produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba (RJ).....	150
Figura 49 – Precipitação acumulada mensal (mm), temperatura média do ar (°C) e evapotranspiração potencial (mm) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (Rio de Janeiro – RJ), entre os anos de 2008 e 2019.	153
Figura 50 – Valores médios mensais de precipitação acumulada mensal (mm), evapotranspiração potencial (mm) e temperatura (°C) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (RJ), entre os anos de 2008 e 2019.	155

Figura 51 – Valores médios mensais de radiação (W/m^2) e umidade relativa do ar (mm) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (RJ), entre os anos de 2008 e 2019.	155
Figura 52 – Precipitação acumulada anual e temperatura média anual da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (Rio de Janeiro – RJ), entre os anos de 1985 e 2016.....	157
Figura 53 – Balanço hídrico sequencial da região da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RJ) a partir de dados adquiridos da Estação Meteorológica da Marambaia (Rio de Janeiro, RJ), entre janeiro/2008 e dezembro/2019.....	161
Figura 54 – Médias mensais do balanço, déficit e excedente hídrico a partir de dados obtidos da Estação Meteorológica da Marambaia (RJ) entre 2008 e 2019.	162
Figura 55 – Matriz de correlação da produção dos compartimentos da serapilheira das florestas de franja e as variáveis climáticas e balanço hídrico do manguezal Guaratiba (RJ). As correlações negativas (<0) são apresentadas na cor vermelha e laranja e as correlações positivas (>0) são apresentadas em verde claro e escuro.....	171
Figura 56 – Matriz de correlação da produção dos compartimentos da serapilheira das florestas de bacia e as variáveis climáticas e balanço hídrico do manguezal Guaratiba (RJ). As correlações negativas (<0) são apresentadas na cor vermelha e laranja e as correlações positivas (>0) são apresentadas em verde claro e escuro.....	172
Figura 57 – Matriz de correlação da produção dos compartimentos da serapilheira das florestas de transição e as variáveis climáticas e balanço hídrico do manguezal Guaratiba (RJ). As correlações negativas (<0) são apresentadas na cor vermelha e laranja e as correlações positivas (>0) são apresentadas em verde claro e escuro.....	173
Figura 58 – Balanço hídrico sequencial da região de Guaratiba entre agosto de 2008 e julho de 2019 (gráfico superior). Produção média diária total ($g.m^{-2}.dia^{-1}$) entre agosto/2008 e dezembro/2019 para os três tipos fisiográficos: franja, bacia e transição (gráfico inferior).....	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações de salinidade da água intersticial utilizadas para calcular os valores de cada tipo fisiográfico do manguezal de Guaratiba (RJ).....	41
Tabela 2 – Modelos utilizados para estimativa da biomassa foliar das espécies de mangue (SOARES, 1997; SOARES;SCHAEFFER-NOVELLI, 2005; ESTRADA et al., 2014).....	45
Tabela 3 – Produção média histórica de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nas florestas de franja do manguezal de Guaratiba – RJ entre 2009 e 2019.	50
Tabela 4 – Produção média histórica de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nas florestas de bacia do manguezal de Guaratiba – RJ entre 2009 e 2019.	51
Tabela 5 – Produção média histórica de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) nas florestas de transição do manguezal de Guaratiba – RJ entre 2009 e 2019.	52
Tabela 6 – Dados referentes à produção de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) em diferentes manguezais do mundo e no presente estudo (grifado em negrito).	59
Tabela 7 – Valores médios de serapilheira produzida anualmente para os manguezais da região de Guaratiba – RJ a partir das informações apresentadas por Almeida <i>et. al</i> (2014).....	66
Tabela 8 – Salinidade média (\pm desvio padrão) da água intersticial do manguezal de Guaratiba - RJ ao longo das estações de monitoramento e por tipo fisiográfico entre os anos de 2009 e 2019.....	70
Tabela 9 – Dados da produção média anual de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) das florestas de franja, bacia e transição no manguezal de Guaratiba (RJ) no período de 2009 a 2019.	72
Tabela 10 – Resultados obtidos a partir da One-Way ANOVA onde foi testada a similaridade da produção anual de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) entre 2009 a 2019 segundo os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba-RJ.	74
Tabela 11 – Resultado do teste de Tukey da variável produção anual de serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) entre 2009 a 2019 segundo os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba-RJ.	74
Tabela 12 – Resultados obtidos a partir da One-Way ANOVA onde foi testada a similaridade da salinidade da água intersticial média anual entre 2009 a 2019 segundo os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba-RJ.....	75

Tabela 13 – Resultado do teste de Tukey da variável salinidade da água intersticial média anual entre 2009 a 2019 segundo os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba-RJ.....	75
Tabela 14 – Elevação média (cm) e distância média do corpo hídrico (m) dos tipos fisiográficos da floresta de mangue de Guaratiba – RJ calculados a partir de Estrada <i>et al.</i> (2013).....	78
Tabela 15 – Dados estruturais das florestas de mangue do rio Piracão em Guaratiba.....	81
Tabela 16 – Dados da produção média anual de folhas ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) das espécies <i>Rhizophora mangle</i> , <i>Avicennia schaueriana</i> e <i>Laguncularia racemosa</i> nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição entre 2009 e 2019 no manguezal de Guaratiba.....	82
Tabela 17 – Contribuição de folhas das espécies de mangue para a serapilheira, área basal e biomassa foliar das estações de franja, bacia e transição do manguezal de Guaratiba – RJ.	87
Tabela 18 – Resultados obtidos a partir da ANOVA de medidas repetidas onde foi testada a similaridade da produção de serapilheira e seus compartimentos com os anos em estudo (2009 a 2019) do manguezal de Guaratiba-RJ.....	102
Tabela 19 – Teste de Mann-Kendall aplicado para a produção média diária de galhos e ramos, propágulos, flores e estípulas dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba – RJ de agosto/2008 a dezembro/2019.	119
Tabela 20 – Teste de Mann Kendall aplicado para a produção média diária de folhas das espécies de mangue e tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba – RJ de janeiro/2009 a dezembro/2019.	137
Tabela 21 – Produção média anual de folhas por espécies ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) antes da praga (2009), no pico da desfolhação (2011) e no final da série temporal (2019) e as variações percentuais frente a praga de herbívoros no manguezal de Guaratiba.	149
Tabela 22 – Valores médios mensais de precipitação acumulada mensal (mm), temperatura média do ar (°C), evapotranspiração potencial (mm), radiação solar (KJ/m^2) e umidade relativa do ar (mm) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (Rio de Janeiro – RJ), entre os anos de 2008 e 2019.....	154
Tabela 23 – Precipitação acumulada anual (mm) e temperatura média anual (°C) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (RJ), entre os anos de 2008 e 2019 e sua comparação com as médias históricas de precipitação acumulada anual ($1.058,9 \pm 253,7$ mm) e temperatura anual média ($23,5 \pm 0,4$ °C) descritas por Estevam (2019).....	157

Tabela 24 – Classificação das condições do Balanço hídrico da região da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RJ) de 2008 a 2019 conforme as média histórica de armazenamento de água no solo ($36,9 \pm 33,5$ mm) de Estevam (2019) e a presença/ausência de excedente hídrico.	162
Tabela 25 – Resultados dos testes de regressões lineares entre os parâmetros climáticos e balanço hídrico (variável independente) e a produção de serapilheira (variável dependente) nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba – RJ. Dados de agosto/2008 a julho/2009 e janeiro/2016 a dezembro/2019.	163
Tabela 26 – Resultados das regressões múltiplas dos modelos I e II entre a produção de serapilheira nos tipos fisiográficos (variável dependente) e as variáveis climatológicas (variáveis independentes) no manguezal de Guaratiba.	169
Tabela 27 – Resultados obtidos a partir do Teste t onde foi testada à similaridade da produção média anual de serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) em períodos de BEI e AEI nas florestas de franja do manguezal de Guaratiba-RJ.	180
Tabela 28 – Resultados obtidos a partir do Teste t onde foi testada à similaridade da produção média anual serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) em períodos de BEI e AEI nas florestas de bacia do manguezal de Guaratiba-RJ.	180
Tabela 29 – Resultados obtidos a partir do Teste t onde foi testada à similaridade da produção média anual serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) em períodos de BEI e AEI nas florestas de transição do manguezal de Guaratiba-RJ.	181

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	20
1	OBJETIVOS	23
1.1	Objetivo geral	23
1.2	Objetivos específicos	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1	Distibuição e Caracterização Florística dos Manguezais	24
2.2	Zonação	25
2.3	Assinatura Energética	27
2.4	Padrões da Produção de Serapilheira em Manguezais	28
2.4.1	<u>Escala espacial</u>	28
2.4.2	<u>Variação temporal</u>	31
2.4.3	<u>Produção de serapilheira e climatologia</u>	32
2.5	Produção de Serapilheira e Herbivoria	33
3	METODOLOGIA	36
3.1	Área de Estudo	36
3.2	Coleta e Tratamento dos Dados	38
3.2.1	<u>Produção de serapilheira</u>	38
3.2.2	<u>Salinidade da água intersticial</u>	40
3.2.3	<u>Parâmetros meteorológicos</u>	41
3.2.4	<u>Balanço hídrico</u>	42
3.3	Análises Estatísticas	44
3.3.1	<u>Produção de serapilheira e o gradiente de frequência de inundação pelas marés</u> ..	44
3.3.2	<u>Variabilidade temporal da produção de serapilheira</u>	46
3.3.3	<u>Produção de serapilheira e fatores abióticos associados</u>	47

3.3.4	<u>Produção de serapilheira e fatores bióticos associados</u>	48
4	Resultados e Discussão	50
4.1	Produção de Serapilheira no manguezal de Guaratiba e o Gradiente de Frequência de Inundação Pelas Marés	50
4.1.1	<u>Caracterização geral</u>	50
4.1.2	<u>Produção de serapilheira relacionada ao gradiente de inundação pelas marés</u>	71
4.2	Variação Temporal da Produção de Serapilheira	96
4.2.1	<u>Variação interanual</u>	96
4.2.2	<u>Variação anual</u>	105
4.2.3	<u>Tendências e ciclos da produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba</u>	111
4.3	Produção de Serapilheira no Manguezal de Guaratiba e Fatores Bióticos Associados	126
4.3.1	<u>Produção de folhas em florestas de mangue e eventos de praga de herbívoros</u>	126
4.3.2	<u>Modelo de influência de praga de lagartas sobre a produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba</u>	144
4.4	Produção de Serapilheira no Manguezal de Guaratiba e Fatores Abióticos Associados	151
4.4.1	<u>Climatologia e balanço hídrico sequencial no manguezal de Guaratiba</u>	151
4.4.2	<u>Influência do clima sobre a produção de serapilheira</u>	163
4.4.3	<u>Produção em diferentes condições de estresse hídrico</u>	177
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	185
	REFERÊNCIAS	192

INTRODUÇÃO

O manguezal é um ecossistema costeiro de ocorrência em zonas entre marés de regiões tropicais e subtropicais. Possui vegetação lenhosa típica com adaptações para a salinidade, substrato inconsolidado, pouco oxigenado e inundado (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; SOARES, 1997). Segundo Walsh (1974) e Chapman (CHAPMAN, 1975), as condições básicas para existência desse ecossistema são: temperatura média do mês mais frio superior a 20 °C; amplitude térmica anual inferior a 5 °C; substrato aluvial; ambientes costeiros abrigados da energia de ondas; presença de água salgada; regiões submetidas a grande amplitude de marés; existência de costas suficientemente rasas para a fixação de propágulos; e correntes oceânicas favoráveis (temperatura e sentido).

De acordo com Soares (1997), os manguezais apresentam diversas funções, dentre as quais pode-se citar: manutenção da diversidade biológica da região costeira; proteção da linha de costa, evitando erosão da mesma e assoreamento dos corpos d'água adjacentes; área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, dulcícolas e terrestres e; fonte de detritos para as águas costeiras adjacentes, constituindo a base de cadeias tróficas de espécies de importância econômica e/ou ecológica.

Na costa brasileira, os manguezais estendem-se de 04° 20' N (Rio Oiapoque-AP) até 28° 28' S (Laguna-SC) sob uma ampla série de condições ambientais (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990; SOARES et al., 2012). No Brasil, as florestas de mangue podem ser representadas por espécies dos gêneros *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia* (TOMLINSON, 1986). Esse ecossistema está entre os de maior produtividade primária, apresentando valores superiores aos observados em florestas terrestres de mesma latitude (SAENGER; SNEDAKER, 1993).

A biomassa nos manguezais disposta, principalmente, em troncos, folhas e raízes, e as partes das plantas eliminadas naturalmente, destaca-se por ser a principal forma de disponibilização da produção primária líquida de manguezais para os sistemas adjacentes (MACHADO, 2014). Assim, a serapilheira é a principal fonte de detritos orgânicos, que ao serem transportados pelas marés, constituem uma importante fonte de energia para cadeias tróficas estuarinas e marinhas de base detritica (ODUM; HEALD, 1975a).

A produção e decomposição de serapilheira são processos fundamentais para a manutenção da ciclagem de nutrientes, uma vez que os manguezais atuam como um "transformador" de nutrientes em estrutura vegetal e animal (matéria orgânica) que são

enriquecidos com fungos e bactérias (CINTRON et al., 1978; CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; HAMACHER, 2001; LUGO; SNEDAKER, 1975; SNEDAKER, 1978; TWILLEY, 1995). Essa produção de detritos orgânicos, além de ser influenciada pela composição da fauna e estágio sucessional das florestas, tem seu comportamento induzido pelo clima e interação biótica como a herbivoria (ELSTER et al., 1999; MACHADO, 2014; PEREIRA, 2019; VIDAL et al., 2007). Elementos do clima como: temperatura do ar, disponibilidade de água, precipitação e ventos e suas mudanças em larga escala, são fatores que regem a dinâmica dos manguezais influenciando na variação da produção de serapilheira (FERREIRA et al., 2014; MUROVHI; MATERECHERA; MULUGETA, 2012; ROSSI, 2017).

A produção de serapilheira em manguezais é diretamente influenciada pelas taxas de queda do componente folhas, considerada como o mais importante componente da serapilheira, uma vez que atingem altas porcentagens da produção total (CHAVES, 2007; FERNANDES, 1997; GONÇALVES; FERNANDES; CARVALHO, 2006; MACHADO, 2014; MEHLIG, 2001; PEREIRA, 2019; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975).

Nos manguezais, os herbívoros têm papel importante na ciclagem de nutrientes e transferência de energia para outros níveis tróficos. Contudo, a herbivoria pode afetar negativamente a aptidão das plantas, os padrões de transferência de nutrientes e energia nas cadeias alimentares e a diversidade de organismos dentro das comunidades (SILVA, 2014).

O grupo de herbívoros mais representativo em manguezais é o dos insetos. Os insetos dependem das partes das plantas em quantidade e qualidade para o seu crescimento, desenvolvimento e reprodução, podendo gerar impactos significativos nos ecossistemas (BEGON; TOWSEND; HARPER, 2006; SILVA, 2014). Há casos de desfolhação severa de florestas de mangue, causada por larvas de lepidópteros, tal como relatado por Menezes e Mehlig (2005), em *Avicennia germinans* (L.) no Brasil, por Anderson e Lee (ANDERSON; LEE, 1995), em *Avicennia marina*, em Hong Kong e por Elster *et al.* (1999) em *Avicennia germinans*, na Colômbia. A herbivoria causa a redução da área foliar, afetando a produtividade dos manguezais, assim como outros tipos de danos que também costumam estar presentes nas folhas de mangue. Quando ocorre de forma severa e seletiva, o ataque de herbívoros pode ainda afetar a dinâmica e o processo sucessional de florestas de mangue, induzindo alterações na composição de espécies.

No estudo de Machado (2014) sobre a produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba, entre julho de 2010 e junho de 2012, a autora indicou através do exame da produção de serapilheira por compartimentos e composição de espécies, interferência sobre a

produção de serapilheira por herbivoria de lagartas de mariposas, e que o padrão da redução da produção de serapilheira da franja em direção ao interior da floresta seria a soma do aumento do rigor ambiental e o efeito da predação da lagarta. Estevam (2019), entre 2009 e 2011, registrou mortalidade de plântulas e jovens na colonização do manguezal em seu estudo sobre dinâmica de comunidades pioneiras. Foi observada grande mortalidade de indivíduos de *A. schaueriana* próximo às áreas de transição da floresta, evento decorrente da praga de lagartas de mariposa, quando grande parte dos indivíduos desta espécie morreram e outra parte apresentou desfolhação e morte apical. Estudos registraram o máximo de mortalidade no ano de 2010 e posteriormente um momento de recuperação e recrutamento de novos indivíduos desta espécie em diversos pontos da floresta (ESTEVAM, 2019; ESTRADA, 2013).

Analisando a produção de serapilheira com uma série temporal de dez anos (2008 a 2018), Pereira (2019) registrou redução expressiva do compartimento folhas da espécie *A. schaueriana* em toda floresta de mangue de Guaratiba-RJ. Esse autor constatou uma redução expressiva de sua produção do início do monitoramento até o ano de 2011. A transição foi a área que apresentou maior redução da produção de serapilheira influenciada por esta diminuição de folhas, porém em 2017 valores condizentes com o início do monitoramento voltaram a ser registrados na série temporal em questão. Os tipos fisiográficos franja e bacia também exibiram redução da produção de folhas dessa espécie, porém em menor escala. Segundo Odum (1981), ecossistemas naturais possuem estratégias de crescimento e adaptações que os fazem aptos a se recompor após perturbações naturais periódicas. Na ausência de efeitos residuais causados por tensores, o ecossistema pode voltar a um estado muito similar às condições anteriores ao distúrbio.

Sendo assim, estudos com monitoramentos contínuos de longo prazo são importantes para melhor compreensão do comportamento da produção de serapilheira no ecossistema manguezal e suas relações com fatores bióticos – como herbivoria - e abióticos - salinidade, clima e balanço hídrico - podendo acarretar em novas interpretações sobre a dinâmica da produção de serapilheira nesse ecossistema.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo caracterizar e analisar a produção de serapilheira ao longo de 12 anos de monitoramento da floresta de mangue de Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ), considerando-se alguns controles bióticos e abióticos.

1.2 Objetivos específicos

Com base no objetivo apresentado acima, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Estimar e caracterizar a produção de serapilheira ao longo de um gradiente de frequência de inundação pelas marés na floresta de mangue de Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ);
- Avaliar o efeito da frequência de inundação pelas marés e salinidade sobre a produção de serapilheira;
- Analisar o efeito da herbivoria sobre a produção de serapilheira;
- Avaliar o efeito das características climáticas e disponibilidade hídrica sobre a produção de serapilheira;
- Determinar as interações entre fatores bióticos e abióticos e seus efeitos sobre a produção de serapilheira;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Distribuição e Caracterização Florística dos Manguezais

Na costa brasileira, os manguezais estendem-se de 04° 20' N (Rio Oiapoque-AP) até 28° 28' S (Laguna-SC) (Soares *et al.*, 2012). Segundo schaeffer-Novelli e Cintrón (1986), sete são as espécies de mangue que ocorrem no Brasil: *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, *R. racemosa*, *Avicennia schaueriana*, *A. germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erecta*, sendo essa última uma espécie associada segundo Tomlinson (1986).

As espécies de mangue são plantas halófitas facultativas, sendo a salinidade intersticial um dos principais fatores reguladores do crescimento, estrutura e sobrevivência das espécies, conseqüentemente, da zonation (TOMLINSON, 1986). Para regular a concentração de sais, as espécies de mangue possuem mecanismos fisiológicos destinados à filtração do sal pelo sistema radicular e/ou à excreção de sal por glândulas nas folhas, sendo divididas em dois grupos: as que excretam e as que não excretam sal. Dentre as espécies encontradas no Brasil, as plantas excretoras de sal são do gênero *Avicennia* e *Laguncularia* e as plantas não excretoras são do gênero *Rhizophora* (TOMLINSON, 1986).

A espécie *Rhizophora mangle* se desenvolve melhor na baixa presença de sais, e por isso, é geralmente a espécie que se encontra na área com maior proximidade ao oceano e nas bordas dos canais, formando florestas onde há alta frequência de inundação (florestas de franja ou ribeirinha), ou ainda em solos onde a água intersticial possui salinidade inferior a 50 (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Sua característica mais evidente é o seu sistema de “raízes aéreas” (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983), que constituem, na verdade rizóforos. Suas folhas são simples, geralmente com comprimento de 8 a 10cm e com 4 a 5 cm de largura. As flores são pequenas, cerca de 2,5 cm de diâmetro e de coloração branca amarelada e seus frutos são ovais com eixo hipocótilo atingindo até 30cm que se desenvolve antes de se desprender da planta-mãe (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; ENGLER, 1876). Segundo Tomlinson (1986), *Rhizophora mangle* possui tecido suberoso liso, que apresenta cor vermelha ao ser descascado. Esta característica confere à espécie o nome popular de “mangue vermelho”.

O gênero *Avicennia* possui alta adaptação às condições hipersalinas (LUGO; MEDINA, 2014), o que contribui para este gênero ser o mais tolerante às variações nas condições climáticas e edáficas. Por esta razão, frequentemente é a espécie dominante ou exclusiva de ambientes nas áreas onde os solos contêm altas concentrações de sal. O gênero *Avicennia*, se distingue pelo desenvolvimento pronunciado e radial de pneumatóforos, suas folhas são opostas geralmente alcançando 8cm de comprimento e 3cm de largura. Suas flores são pequenas, cerca de 0,5 cm de comprimento e 0,2 a 0,5 cm de diâmetro e seus frutos são cápsulas ovaladas e achatadas tendo o desenvolvimento do embrião antes de sua queda (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). A espécie *Avicennia schaueriana* possui tecido suberoso castanho estriado, que, quando descascada, apresenta a cor amarela (TOMLINSON, 1986).

A espécie *Laguncularia racemosa* possui tolerância intermediária à salinidade em comparação as espécies mencionadas anteriormente (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983), sendo encontrada em um amplo gradiente de salinidade, desde salinidades muito baixas até ambientes hipersalinos. As folhas do gênero *Laguncularia* são pecioladas, com pecíolos de 1-2 cm de largura, e com duas glândulas colocadas em ambos lados da porção distal (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; TOMLINSON, 1986). Além disso, são opostas, simples, integradas e retangulares com uma ponta arredondada e de textura coriácea e suculenta. A superfície superior é verde acinzentada enquanto que a inferior é mais clara. As flores são pequenas, mas muito numerosas e possuem forma de tubo e a sua coloração é grisalho-esbranquiçada, medindo de 4 a 5 mm de diâmetro.

2.2 Zonação

Uma das características do ecossistema manguezal é que as espécies que o compõem podem ser encontradas agrupadas em faixas ou zonas estreitas paralelas à linha de costa (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; TOMLINSON, 1986). Segundo Lugo e Snedaker (1974), na escala local, a estrutura das florestas de mangue depende da hidrologia e microtopografia, pois esses fatores geram gradientes de salinidade e disponibilidade de nutrientes, associados à frequência de inundação pelas marés e ao aporte de água doce.

A distribuição das espécies de mangue ao longo do manguezal é denominada zonação (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983) e pode ser definida como uma sequência

espacial de substituição de espécies ao longo de um gradiente espacial de condições ambientais (HUSTON, 1994). De acordo com Tomlinson (1986) o parâmetro mais usual associado com os efeitos fisiológicos e às correlações estabelecidas com a distribuição de diferentes espécies é a salinidade, devido à fácil medição (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; LUGO; MEDINA, 2014). O gradiente de salinidade sobre o qual manguezais crescem varia desde água doce para até três vezes a salinidade da água do mar (CINTRON et al., 1978), que além de influenciar a distribuição das espécies conforme sua tolerância à salinidade, interfere no desenvolvimento das árvores de mangue gerando um gradiente de desenvolvimento estrutural no manguezal (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983).

Valores de salinidade acima ou abaixo do ideal reduzem as trocas gasosas e as taxas de crescimento e as condições ótimas para o desenvolvimento das espécies de mangue varia de acordo com a espécie e o estágio de desenvolvimento da planta (BALL, 1988; KRAUSS et al., 2008). Os níveis de tolerância à salinidade influenciam também suas habilidades competitivas, inter e intraespecíficas.

No manguezal de Guaratiba (RJ), Estrada *et al.* (2013) e Soares *et al.* (2017) descrevem uma clara distinção entre os tipos fisiográficos, sendo as florestas de franja as mais desenvolvidas e as de transição as menos desenvolvidas. Esses estudos mostram, a partir da análise do desenvolvimento estrutural da floresta, redução do tamanho das árvores (diâmetro, altura e área basal) e aumento da densidade ao longo do gradiente franja-bacia-transição e que a ocorrência deste gradiente estrutural e zonação de espécies de mangue são associadas aos gradientes de frequência de inundação pelas marés

De acordo com Soares *et al.* (2017), o desenvolvimento estrutural da floresta de Guaratiba é altamente variável, com altura média variando entre 0,54m e 7,96m, diâmetro médio entre 1,58cm e 9,46cm e densidade de troncos entre 2.733 troncos vivos.ha⁻¹ e 106.667 troncos vivos.ha⁻¹. De acordo com os autores a variabilidade da estrutura responde ao gradiente de aumento da salinidade da água intersticial em direção à planície hipersalina, com a altura e o diâmetro médios diminuindo e a densidade de troncos aumentando no mesmo sentido. É observado o seguinte padrão de dominância de espécies: *Rhizophora mangle* nas proximidades da margem do estuário; *Laguncularia racemosa* na transição com a planície hipersalina; e *Avicennia schaueriana* nas zonas intermediárias.

2.3 Assinatura Energética

Uma vez que as regiões de manguezais estão localizadas na interface entre o continente e o oceano estão sujeitas à influência de fatores terrestres e marinhos (LUGO; SNEDAKER, 1974). Desta forma, os manguezais crescem sob a influência de diversos fatores ambientais que possuem variação de intensidade e periodicidade, resultando assim, em uma grande variabilidade quanto ao seu desenvolvimento estrutural (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990). Dentre estes fatores, podem ser citados: as concentrações de nutrientes, quantidade e periodicidade do escoamento de água doce, amplitude e frequência das marés, frequência/volume de precipitação e intensidade da evaporação, além da atuação de fatores de estresse como, por exemplo, baixas temperaturas, geadas, secas, furacões e altas salinidades (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; LUGO; MEDINA, 2014).

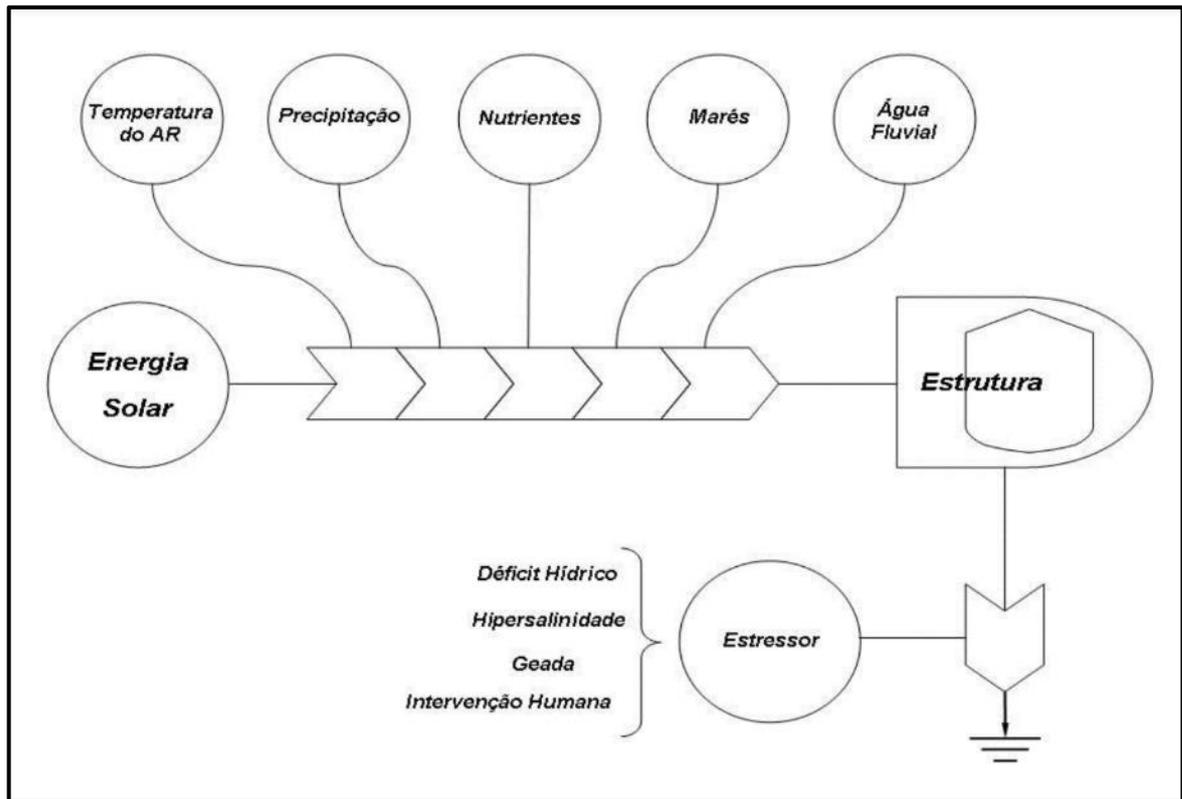
De acordo com o modelo de assinatura energética de ODUM *et al.* (1977) (**Figura 1**), cada sistema se desenvolve a fim de utilizar o máximo das energias e recursos disponíveis, considerando as flutuações e periodicidades características das mesmas. No manguezal, em geral, o desenvolvimento é maior onde o ambiente é submetido a grande amplitude de maré, maiores temperaturas e energia solar, amplo aporte de água doce, precipitação e nutrientes (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990).

A ação e interação de todos esses fatores dita o grau de desenvolvimento estrutural que pode ocorrer em um manguezal e, com isso, onde esses fatores atingem condições ótimas, os manguezais podem alcançar o seu máximo desenvolvimento estrutural (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Manguezais também ocorrem em ambientes onde alguns fatores de estresse podem ser limitantes e, nesses ambientes mais rigorosos a estrutura da floresta é geralmente reduzida, mesmo que a composição por espécies seja semelhante (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990).

Os manguezais são encontrados em regiões tropicais e subtropicais do planeta, distribuindo-se entre as latitudes 30°N e 30°S, possuindo maior desenvolvimento próximo à linha do Equador, entre 5°N e 5°S (GIRI et al., 2011). Há áreas de manguezal em 118 países e territórios nas Américas, Oceania, África e Ásia (SPALDING; KAINUMA; COLLINS, 2010). A região norte do Brasil possui mais de 80% das áreas de manguezais nacionais, concentradas nos estados do Amapá, Pará e Maranhão. Essa porção do país apresenta condições ótimas para o crescimento e máximo desenvolvimento de manguezais, como a alta

disponibilidade de água doce associada à elevada precipitação e aos numerosos rios que também depositam e transportam matéria orgânica e sedimentos, regime de macromarés, alta radiação solar o ano todo e temperaturas médias acima de 20°C (SPALDING; KAINUMA; COLLINS, 2010), confirmando o modelo de assinatura energética.

Figura 1 – Diagrama ilustrando as principais forçantes que atuam sobre o sistema de manguezal.



Fonte: Modificado de Schaeffer-Novelli et al., 1990.

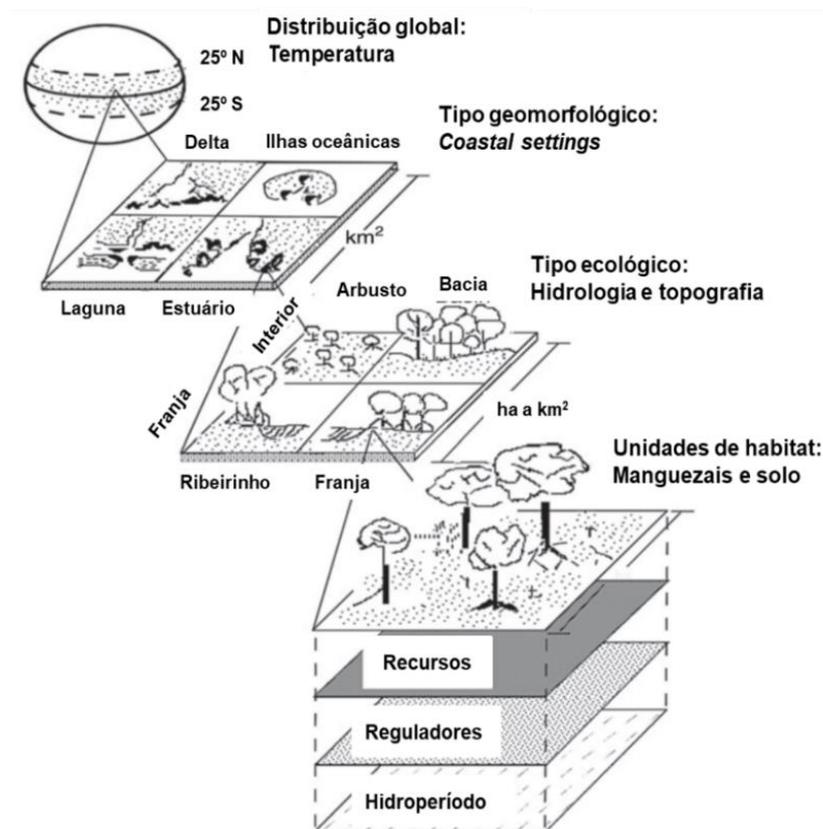
2.4 Padrões da Produção de Serapilheira em Manguezais

2.4.1 Escala espacial

A variabilidade da produção de serapilheira em manguezais pode ser observada em diferentes escalas espaciais: global, regional e local (ADAIME, 1985; CHAVES, 2007; MACHADO, 2014; SAENGER; SNEDAKER, 1993; TWILLEY; LUGO; PATTERSON-ZUCCA, 1986) (**Figura 2**). Nos biomas florestais mundiais, pode-se observar um padrão

latitudinal de aumento da produtividade desde as condições boreais, passando pelas temperadas, subtropicais até as tropicais (BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2006). A produção de serapilheira em manguezais ocorre de forma variada e apresenta resultados diferentes dependendo da área de estudo. Na escala global, a produção de detritos apresenta tendências influenciadas por fatores climáticos (ADAIME, 1985; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975; SAENGER; SNEDAKER, 1993).

Figura 2 – Sistema de classificação hierárquica para descrever padrões de estrutura e função de manguezais com base em fatores globais, geomorfológicos (regionais) e ecológicos (locais).



Fonte: TWILLEY et al., 1998.

A tendência observada é de maior produção de serapilheira em áreas próximas ao equador e redução com o aumento da latitude (ALONGI, 2009; MACHADO, 2014; SAENGER; SNEDAKER, 1993). De acordo com Adaime (1985), a taxa de produção de serapilheira está relacionada à disponibilidade de raios solares, o que explica em parte a maior produção em latitudes baixas. De maneira geral, a produção de serapilheira segue um padrão global com tendência de maior produção em áreas de baixa latitude, diminuindo gradativamente para manguezais situados em maiores latitudes, ou seja, a produção é maior

em regiões com maior incidência solar. Assim, quando não há tensores ambientais locais específicos, o acúmulo de biomassa e a produção de serapilheira, são proporcionais à insolação recebida, sendo maiores em baixas latitudes. Saenger e Snedaker (1993) e Chaves (2007), nos dizem que a insolação, evaporação, temperatura e disponibilidade hídrica em florestas situadas em latitudes menores são responsáveis por esta maior produção.

Além dos fatores globais, existem variações espaciais regionais e locais, que se relacionam à geomorfologia e à microtopografia - que determinam a frequência de inundação pelas marés - que compõem, juntamente com a radiação solar, a principal força mantenedora do ecossistema manguezal (CHAVES, 2007; LUGO; SNEDAKER, 1974). Segundo Lugo e Snedaker (1974), na escala local, esses fatores geram gradientes de salinidade, pH e nutrientes.

Com base em tais características, Segundo Lugo e Snedaker (1974) identificaram cinco tipos fisiográficos que podem ocorrer nas florestas de mangue, são eles: floresta de franja, que ocorre ao longo da margem da linha de costa e ilhas, podendo estar submetida à ação de ventos e ondas; floresta ribeirinha, presente ao longo da margem de rios e canais de drenagem, apresentando alto desenvolvimento estrutural, devido ao fluxo constante de água doce e aporte de nutrientes; ilhote, pequenas ilhas ou bancos de sedimento ao longo das baías rasas e estuários, que são frequentemente lavados pelas marés; floresta de bacia, presente em áreas mais internas na floresta, cortadas por canais que seguem em direção à costa; floresta anã ou arbustiva, que apresenta árvores com menos de 1,5 m de altura, submetidas à baixa disponibilidade de nutrientes e/ou alta salinidade.

Schaeffer-Novelli *et al.* (2000) reagrupou os tipos fisiográficos originais propostos por Lugo e Snedaker (1974). De acordo com essa nova classificação, as florestas de franja (incluindo ribeirinho e ilhote) encontram-se mais próximas do corpo hídrico, estando sob maior frequência de inundação pelas marés, apresentam altos níveis de desenvolvimento estrutural; as florestas de bacia encontram-se mais distantes, apresentando, conseqüentemente, menor frequência de inundação pelas marés e reduzido desenvolvimento estrutural quando comparadas à franja; Estrada *et al.* (2014) acrescentam as florestas anãs ou arbustivas (ou de transição) que encontram-se em condições ambientais limítrofes do ponto de vista fisiológico, como na transição com planícies hipersalinas, por isso têm seu desenvolvimento estrutural limitado.

De forma geral, o desenvolvimento estrutural e a distribuição de espécies, numa escala local, estão associados ao aumento do rigor ambiental, provocado pela redução da frequência de inundação pelas marés associada ao aumento da salinidade. Segundo Twilley *et al.* (1986),

a produção de serapilheira também pode variar entre os tipos fisiográficos descritos por Lugo e Snedaker (1974) e o padrão de produção acompanharia a intensidade da frequência de inundação pelas marés e influência fluvial e teria a seguinte ordem decrescente: floresta ribeirinha> floresta de franja> floresta de bacia> floresta anã.

O estudo realizado por Chaves (2007), indica que quanto maiores os valores de salinidade da água intersticial, menor a produção de folhas e propágulos na serapilheira. Segundo Bernini e Rezende (2010), a alta produtividade é resultado de baixa salinidade da água intersticial, além da disponibilidade de nutrientes adequados e boas condições climáticas na região. Coronado-Molina *et al.*, (2012) também demonstraram que a salinidade intersticial afeta os padrões espaciais da produção de serapilheira, em seu estudo na Lagoa de Terminos no Golfo do México, onde a queda de serapilheira foi inversamente relacionada à salinidade intersticial. Twilley *et al.* (1986) também relataram uma relação inversa entre a produção de serapilheira e a salinidade do solo em Rookery Bay, Flórida.

2.4.2 Variação temporal

Estudos (CHAVES, 2007; DAY *et al.*, 1987; FLORES-VERDUGO; DAY JW; BRISENO-DUENAS, 1987; KRAUSS *et al.*, 2008; LUGO; BROWN; BRINSON, 1988; MACHADO, 2014; NASCIMENTO *et al.*, 2006) também indicam que variações temporais podem ocorrer na produção de serapilheira. Esta variação é influenciada pela disponibilidade de nutrientes, salinidade da água intersticial, precipitação, radiação solar, temperatura do ar e fluxo fluvial ao longo do tempo. Em alguns casos, a ocorrência de ventos também pode ser considerada importante (POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975; WAFAR; UNTAWALE; WAFAR, 1997). Sendo assim, os manguezais tendem a demonstrar diferenças entre os meses e variações interanuais na produção de serapilheira (WOODROFFE, 1982).

Variações interanuais da produção de serapilheira são explicadas como uma resposta fisiológica da vegetação às alterações ambientais interanuais (ALLEMAN; HESTER, 2011; WOODROFFE, 1982). Woodroffe (1982), sugere que a fenologia de frutos pode diferir substancialmente entre os anos, afetando a produção total de serapilheira. De acordo com Williams *et al.* (1981), Thom (1982) e Arreola-Lizárraga *et al.* (2004), a variabilidade interanual da produtividade sofre influência de fatores como nível médio do mar e temperatura do ar. Chaves (2007) e Alleman e Hester (2011) indicam que há tendência das

árvores em alternar anos de relativamente maior sucesso reprodutivo com anos de relativamente maior crescimento vegetativo.

2.4.3 Produção de serapilheira e climatologia

A produção da serapilheira, além de ser influenciada pela composição da fauna, zonação, salinidade, estágio sucessional e fenologia, sofre efeitos de fatores climáticos (TWILLEY; LUGO; PATTERSON-ZUCCA, 1986; VIDAL et al., 2007). Elementos do clima local (temperatura do ar, precipitação, ventos e balanço hídrico) (FERREIRA et al., 2014; MACHADO, 2014; MUROVHI; MATERECHERA; MULUGETA, 2012) e mudanças climáticas em larga escala (ROSSI; SOARES, 2017), são alguns dos fatores que regem a dinâmica dos manguezais, logo influenciando na variação da produção de serapilheira. Estes elementos estão ligados, direta ou indiretamente, à hidrologia que a floresta está submetida. Disponibilidade de nutrientes, salinidade do sedimento (LUGO; BROWN; BRINSON, 1988), precipitação (FLORES-VERDUGO; DAY JW; BRISENO-DUENAS, 1987), radiação solar (MEHLIG, 2006) e fluxo fluvial (DAY et al., 1987) são fatores aos quais a produção de serapilheira responde. De acordo com Jennerjahn (2017) a elevação do nível do mar, aquecimento das águas oceânicas e da atmosfera também influenciam a produção de serapilheira. Altas produções de serapilheira também estão correlacionadas com meses típicos de tempestades e tufões em alguns lugares como Japão (SHARMA et al., 2012; SURYO HARDIWINOTO; NAKASUGA; IGARASHI, 1989) e Austrália (MACKEY; SMAIL, 1995).

A sazonalidade é o principal efeito do clima sobre a produção de serapilheira. Este comportamento é principalmente refletido pela queda de folhas que são encontradas na serapilheira ao longo de todo o ano em diferentes taxas (POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975). Chaves (2007) demonstrou uma maior queda de serapilheira durante estações úmidas, indicando que a produção de serapilheira aumenta em resposta à maior disponibilidade hídrica e de nutrientes. De forma similar, Wafar *et al.* (1997) mostram que a máxima produção de serapilheira pode estar associada à meses de maior umidade, associado ao aporte de nutrientes e água doce. Estudos que demonstram a relação da serapilheira e climatologia relatam picos e meses de maior produção ocorrendo no verão, onde geralmente há maior pluviosidade, e estariam associados à queda de folhas e propágulos. Esta característica é vista por Gill e Tomlinson (1971), na Flórida com aumento da queda de folhas de *R. mangle*; Williams *et al.*

(1981) na Austrália, com aumento de folhas e propágulos de *R. apiculata* e *R. stylosa*; Lin *et al.* (1990) na China com aumento de folhas de *Bruguiera sexângula*; Kamruzzaman *et al.* (2019) em Bangladesh com altos valores de folhas e propágulos no verão.

Cardoso *et al.* (2015) apresentam um estudo detalhado da produção de propágulos para Guaratiba. De acordo com os autores *A. schaueriana* apresenta padrões sazonais mais claros com picos de produção nos meses de verão, *L. racemosa* também com picos nos meses de verão e produção de propágulos em diferentes momentos ao longo do ano e *R. mangle* exibe maiores períodos contínuos de produção de propágulos, em comparação com as duas outras espécies, com os mais longos picos e em diferentes momentos. Conforme Cardoso *et al.* (2015), as variáveis climáticas demonstraram uma associação mais ajustada aos ritmos fenológicos de *A. schaueriana*. Essa relação pode significar que a formação dos propágulos ocorre em momento de maior armazenamento de água no solo e que quando fica menos favorável, quando há maior evapotranspiração, os propágulos são liberados. De acordo com Larcher *et al.* (2014) a alta produção de material reprodutivo durante a estação chuvosa em manguezais do Paraná parece ser uma adaptação das espécies de mangue aos ambientes alagados, que garante a dispersão das estruturas reprodutivas, quando os níveis de água são mais favoráveis.

2.5 Produção de Serapilheira e Herbivoria

Nos Manguezais, como todas as florestas, as folhas das árvores deste ecossistema são fonte de alimento para herbívoros, sendo a herbivoria definida como a quantidade de material foliar consumido pelos animais. Nos manguezais os herbívoros são importantes na ciclagem de nutrientes e transferências tróficas (COLEY; BARONE, 1996), porém a herbivoria pode afetar negativamente as plantas, a diversidade de organismos dentro das comunidades e os padrões de transferência de material nas cadeias alimentares. Os principais herbívoros encontrados nos manguezais são insetos. Este grupo depende das partes das plantas para seu crescimento, reprodução e desenvolvimento, podendo causar impactos significativos no ecossistema manguezal (ARAÚJO, 2002; BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2006).

Nas interações planta-herbívoro as defesas das plantas são fatores importantes. Os taninos, por exemplo, são compostos químicos que podem fornecer defesa contra a herbivoria. Os aspectos nutricionais também são importantes nesta interação, nutrientes como nitrogênio

podem aumentar a palatabilidade para os herbívoros e, conseqüentemente, as taxas de herbivoria (FELLER; CHAMBERLAIN, 2007; LOYOLA JR; FERNANDES, 1993). Outros fatores importantes são as características edáficas, como a salinidade, que em níveis elevados, pode ser um fator de estresse abiótico capaz de provocar um aumento na produção de metabólitos secundários nos vegetais, que reduzem a palatabilidade das plantas (PETRIDIS et al., 2012). Além disso, o estresse causado pelos níveis elevados de sais pode favorecer a produção de plantas com folhas duras ou coriáceas. Isto ocorre como resposta não específica a uma vasta gama de estresse ambiental (LIMA et al., 2013) e acaba por interferir nas taxas de herbivoria. No entanto, há uma diversidade de herbívoros, principalmente insetos, que coevoluíram com estas características edáficas e que utilizam as folhas de mangue das mais diversas formas (BURROWS, 2003), causando redução em sua área.

A herbivoria causa a redução da área foliar, um fator que pode ser impactante para a produtividade dos manguezais, assim como outros tipos de danos que também costumam estar presentes nas folhas de mangue como, por exemplo, necrose, fungo e galhas. Esses e outros danos, que não causam a redução direta e/ou imediata da área foliar, também podem comprometer a produtividade do ecossistema manguezal (LACERDA et al., 1986), devido à perda da área fotossinteticamente ativa da folha.

De acordo com Cannicci et al. (2008) impacto por insetos em manguezais tem sido considerado de menor importância em comparação com outros tipos de florestas, e os insetos herbívoros podem potencialmente desempenhar um papel importante em muitos aspectos da ecologia do manguezal. A revisão de Burrows (2003) mostra que os impactos da herbivoria nos manguezais incluem a perda de folhas pré-senescentes, danos e inibição da produção de novas folhas, mudanças na qualidade e tempo de queda das folhas.

O impacto dos insetos herbívoros em florestas de mangue vem sendo avaliado em diversos lugares do mundo (AIDE, 1993; BARRETT; STILING, 2006; CHOUDHURY, 1988; ERICKSON et al., 2003; FELLER, 1995, 2002; FELLER; CHAMBERLAIN, 2007; KIHIA et al., 2012; LOWMAN, 1984; MENEZES; PEIXOTO, 2009; NEILSON; GIDDINS; RICHARDS, 1986; NEWBERY, 1980; OFFENBERG; MACINTOSH; NIELSEN, 2006; ONUF; TEAL; VALIELA, 1977; ROBERTSON; DUKE, 1987; ROMERO; CANTERA, 2006; SAUR et al., 1999; SOUSA; KENNEDY; MITCHELL, 2003; TONG; LEE; MORTON, 2006). Na maioria dos estudos, o impacto causado pelos herbívoros é moderado.

Há casos de desfolhação severa em espécies de mangue relatados em várias partes do mundo (ANDERSON; LEE, 1995; BISWAS et al., 2018; ELSTER et al., 1999; FARACO et al., 2019; JENOH et al., 2016; KATHIRESAN, 2003; MENEZES; MEHLIG, 2005;

MENEZES; PEIXOTO, 2009; MURPHY, 1990; PIYAKARNCHANA, 1981; SATHISH et al., 2021; SAUR et al., 1999; WEST; THOROGOOD, 1985; WHITTEN; DAMANIK, 1986). Sendo lagartas de lepidópteros apontadas como os principais agentes responsáveis, que no geral tem preferência pelo gênero *Avicennia*, como *Nephoterix syntaracti* Turner (Lepidoptera: Pyralida) (ANDERSON; LEE, 1995), *Cleora injectaria* Walker (Lepidoptera: Geometridae) (PIYAKARNCHANA, 1981), *Ophiusa melicerta* (Lepidoptera: Noctuidae) (WHITTEN; DAMANIK, 1986), *Junonia evarete* (Cramer, 1779) (Lepidoptera: Nymphalidae) (ELSTER et al., 1999; SAUR et al., 1999) e *Hyblaea puera* (Cramer, 1777) (Lepidoptera: Hyblaeidae) (BISWAS et al., 2018; FARACO et al., 2019; MENEZES; MEHLIG, 2005; MENEZES; PEIXOTO, 2009; SAUR et al., 1999)

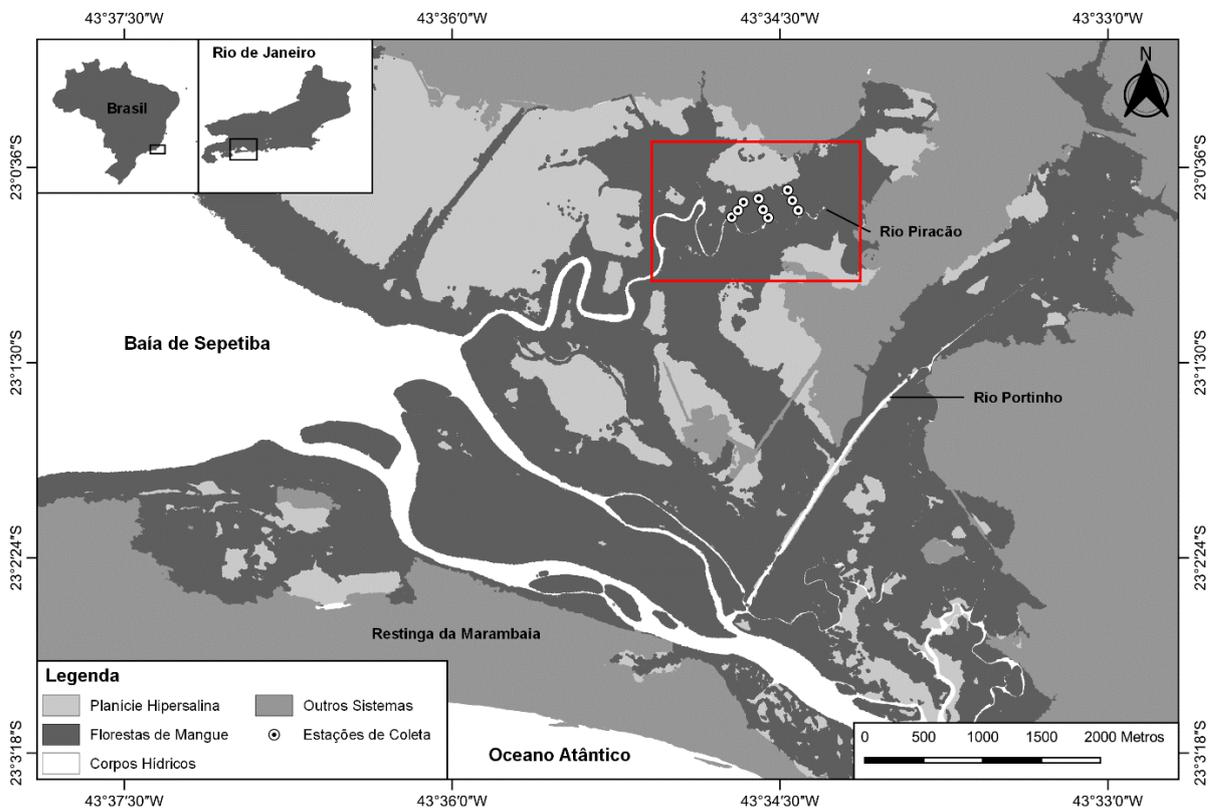
O Brasil possui grande extensão de manguezais (SOARES et al., 2012), no entanto, existem poucos estudos sobre os processos de herbivoria neste ecossistema, destacando-se Lacerda et al. (1986) e Menezes e Peixoto (2009) no Rio de Janeiro, Menezes e Meglig (2005) no Pará, Ignácio et al. (2005) no Paraná, Silva e Maia (2022) no Ceará e Bernini e Lage-Pinto (2021) na Paraíba. Entretanto nenhum estudo relata os desdobramentos a longo prazo de eventos de desfolhação severa em manguezais causa por praga de lagartas.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A área de estudo é localizada na zona oeste do município do Rio de Janeiro, na porção leste da Baía de Sepetiba tendo como margem o rio Piracão. Encontra-se entre as coordenadas 23° 00' e 23° 05' Sul de latitude e entre 43° 30' e 43° 35' Oeste de longitude (**Figura 3**). As florestas de mangue de Guaratiba estão localizadas entre o rio Piraquê e a Serra de Guaratiba. Integram um sistema de ilhas, rios e canais que constituem a Reserva Biológica Estadual de Guaratiba - RBEG (SOARES, 1997). A RBEG protege uma extensa área de manguezal, composta por duas feições: as florestas de mangue, que possuem área de 18,81 km², e as planícies hipersalinas, que ocupam 9,34 km², além de áreas úmidas e áreas alteradas em diferentes estágios de regeneração (ALMEIDA et al., 2014).

Figura 3 – Localização da área de estudo, destacada em vermelho, na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RJ).



Fonte: O autor, 2022.

Segundo Estrada *et al.* (2008), em Guaratiba a temperatura média anual é de 23,5°C e a precipitação anual média é de 1.067 mm, com alta variabilidade interanual da precipitação tendo maior pluviosidade em janeiro e março e períodos secos em junho e agosto (ESTEVAM, 2013; ESTRADA *et al.*, 2008). De acordo com Estevam (2013) Guaratiba apresenta um padrão irregular de distribuição das chuvas ao longo de 1985 e 2011, permanecendo com déficit hídrico em intervalos que podem variar de poucos meses a mais de três anos. O regime de marés da região é definido como de micromarés, com amplitude inferior a dois metros. As partes mais internas das zonas entre-marés são atingidas apenas pelas marés de sizígia, dando origem a planícies hipersalinas (PELLEGRINI, 2000).

De acordo com Soares *et al.* (2017), o desenvolvimento estrutural da floresta de mangue de Guaratiba (RJ) é altamente variável, com altura média variando entre 0,54 e 7,96 m, diâmetro médio entre 1,58 e 9,46 cm e densidade de troncos entre 2.733 e 106.667 troncos vivos.ha⁻¹. É observado o seguinte padrão de dominância de espécies: *Rhizophora mangle* nas proximidades da margem do estuário; *Laguncularia racemosa* na transição com a planície hipersalina; e *Avicennia schaueriana* nas zonas intermediárias.

De acordo com Estrada *et al.* (2013) e Soares *et al.* (2017) a variabilidade da estrutura das florestas de mangue em Guaratiba responde ao gradiente de redução da frequência de inundação pelas marés e aumento da salinidade da água intersticial desde a margem dos corpos de água (baía, rios e canais) até a transição com as planícies hipersalinas, com a altura e o diâmetro médios diminuindo e a densidade de troncos aumentando no mesmo sentido. Este padrão estaria associado à topografia da região, onde há tendência de elevação em direção à planície hipersalina. A salinidade da água intersticial apresenta tendência ascendente em direção à planície hipersalina, variando de $25,3 \pm 2,8$ próximo ao rio Piracão a $101,5 \pm 7,7$ na planície hipersalina (SOARES *et al.*, 2017). Além da salinidade, de acordo com Estrada *et al.* (2013) existe um gradiente na concentração de nitrogênio no sedimento, que decresce de $1,82 \pm 0,13$ g/kg na floresta de franja para $0,54 \pm 0,04$ g/kg nas florestas de transição.

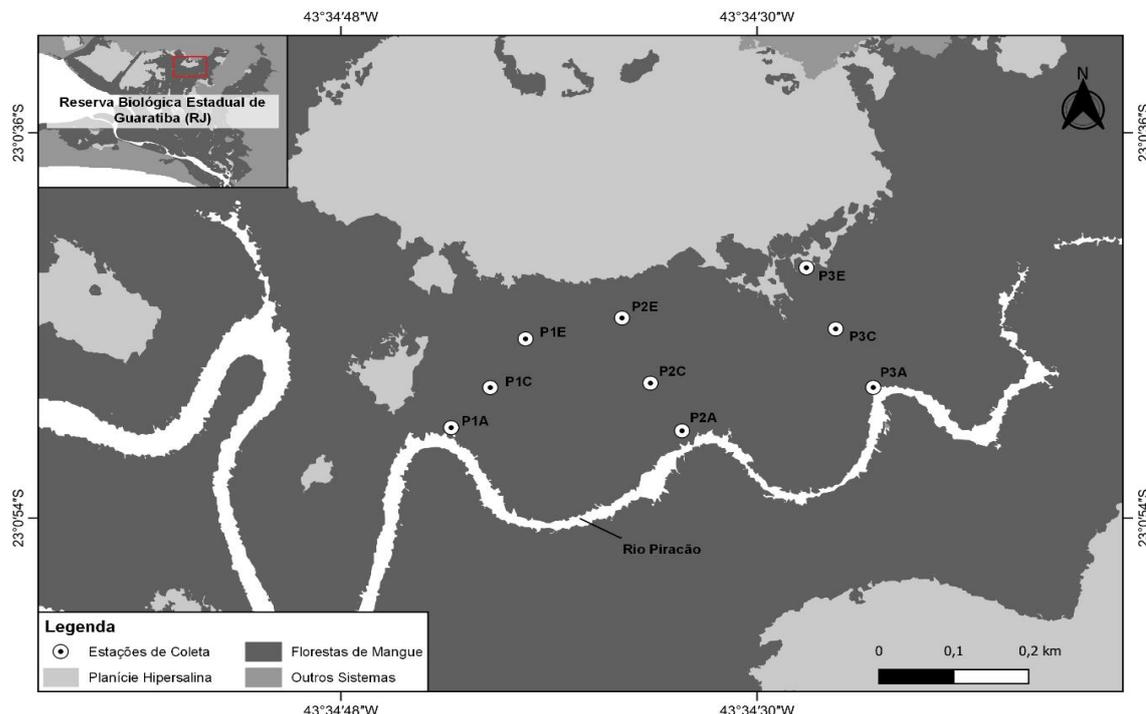
3.2 Coleta e Tratamento dos Dados

3.2.1 Produção de serapilheira

Para estimar a produção de serapilheira foi utilizado o método descrito por Cintrón e Schaeffer-Novelli (1984) e Brown *et al.* (1989). O desenho amostral consiste em 3 transversais dispostas desde a margem do rio Piracão até o limite da floresta com a planície hipersalina (**Figura 4**). Cada transversal possui uma estação localizadas nos três tipos fisiográficos identificados para a floresta – franja, bacia e transição com planície hipersalina, que representam diferentes níveis de frequência de inundação pelas marés (ESTRADA *et al.*, 2013) – e em cada estação estão instaladas 6 cestas coletoras, totalizando 54 cestas na floresta. Cada cesta possui área de 0,25m². As cestas foram visitadas mensalmente, para coleta do material, que é armazenado em sacos plásticos, identificado e levado ao laboratório para triagem, secagem e pesagem.

A triagem da serapilheira foi realizada por material coletado em cada uma das cestas. O material foi identificado e separado pelos compartimentos: folhas, estípulas, flores, propágulos, ramos e galhos, miscelânea, fezes de lagarta e outras espécies associadas. Os compartimentos folhas e propágulos foram separados por espécie. Após triado, todo material foi seco em estufa a 60 °C no período de 5 dias (amostras secas) ou até 7 dias (amostras úmidas) antes de iniciar o processo de pesagem, que ocorreu diariamente até obtenção de peso constante. A balança utilizada foi da marca Shimadzu modelo UX6200H com precisão de duas casas decimais.

Figura 4 – Estações de coleta de serapilheira dos tipos fisiográficos franja (P1A, P2A e P3A), bacia (P1C, P2C e P3C) e transição (P1E, P2E e P3E) do manguezal de Guaratiba (RJ).



Fonte: O autor, 2022.

O monitoramento da produção de serapilheira, incluindo todos os compartimentos, nas estações descritas em **3.1 Área de Estudo** é realizado pelo NEMA/UERJ. As coletas tiveram início em agosto de 2008 para a transversal 2 (estações P2A, P2C e P3E) e julho de 2010 para as transversais 1 e 3 (estações P1A, P1C, P1E, P3A, P3C, P3E) e foram realizadas mensalmente desde então. A produção de serapilheira nos tipos fisiográficos foi obtida através da média dos valores encontrados nas três transversais para cada tipo fisiográfico, convertido para m^2 e para o mês de observação, segundo o número de dias em que as cestas ficaram coletando material ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).

A produção média anual ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) de serapilheira foi estimada para cada um dos tipos fisiográficos, através da soma da produção em cada mês e sua conversão para tonelada por hectare e por ano ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). A partir destes dados foi calculada a produção média histórica dos compartimentos e total a fim de caracterizar a produção de serapilheira para as florestas de franja, bacia e transição.

Em resumo, os valores da serapilheira são obtidos por tipo fisiográfico (franja, bacia e transição) e pelos compartimentos citados anteriormente para cada mês e pela produção total anual.

3.2.2 Salinidade da água intersticial

O monitoramento da salinidade da água intersticial é realizado desde 1997 pelo NEMA - Núcleo de Estudos em Manguezais na transversal 2 do presente estudo de forma trimestral. Esta transversal foi disposta desde a floresta de franja, proximidade com o corpo hídrico, até o limite superior da planície hipersalina, transição com a terra firme. Ao longo desta transversal foram estabelecidas estações de amostragem. Em cada uma das estações foram instalados 3 tubos (réplicas) de PVC de 2 polegadas e 60 cm de comprimento com furos de 3 mm na extremidade interior (**Figura 5**). As amostras de água são coletadas com auxílio de uma bomba manual e pipeta. Para a leitura da salinidade utiliza-se um refratômetro óptico “American Optical” modelo A366ATC, com graduação máxima de 100 e precisão de 1 unidade.

Figura 5 – Tubos de pvc instalados no sedimento para coleta de água ao longo da transversal 2 do manguezal de Guaratiba-RJ. Seta amarela indicando tubo situado na franja.



Fonte: O autor, 2022.

No presente estudo foram utilizados os dados obtidos a cada 3 meses no período entre 2008 e 2019, das estações situados na franja, bacia e transição da floresta de mangue. A franja foi composta por uma única estação, já a bacia e transição pela média de três estações (**Tabela 1**). Inicialmente foi obtida a salinidade da água intersticial média anual de cada estação de coleta e posteriormente calculado a média anual para cada tipo fisiográfico.

Tabela 1 – Estações de salinidade da água intersticial utilizadas para calcular os valores de cada tipo fisiográfico do manguezal de Guaratiba (RJ).

Tipo fisiográfico	Estação de salinidade Intersticial
<i>Franja</i>	Estação 3
<i>Bacia</i>	Estações 5, 6 e 7
<i>Transição</i>	Estações 8, 9 e 10

3.2.3 Parâmetros meteorológicos

A base de dados, para obtenção dos os parâmetros meteorológicos, utilizada foi da estação automática Marambaia-A602, (**Figura 6**), do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, localizada na Restinga da Marambaia, vizinha à área de estudo. A estação começou a operar no dia 7 de outubro de 2002, possuindo as coordenadas 23°3'1.202"S 43°35'44.466"W, altitude de 9m e seu código da OMM é 86914. Os dados até dezembro de 2019 foram disponibilizados pelo BANDA - Banco de Dados Meteorológicos e Oceanográficos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), onde existiam dados de todo o período estudado oriundos do INMET. Foram utilizadas as informações de janeiro de 2008 a dezembro de 2019 coletadas de hora em hora, tendo sido analisados os parâmetros: temperatura do ar (°C), precipitação mensal acumulada (mm), umidade relativa do ar (%) e radiação solar (KJ/m²).

A fim de verificar como os parâmetros meteorológicos (temperatura do ar, precipitação acumulada, umidade relativa do ar e radiação) atuam sobre a produção de serapilheira, inicialmente foi caracterizado o comportamento destas variáveis através da série temporal (2008 a 2019) e médias mensais (obtidas a partir da média dos valores das variáveis para cada mês entre 2008 e 2019). Os gráficos da temperatura do ar, precipitação acumulada, umidade relativa do ar e radiação foram feitos no programa Excel®.

Figura 6 – Estação meteorológica automática da Marambaia-RJ – INMET.



Fonte: INMET, 2022.

3.2.4 Balanço hídrico

O Balanço Hídrico resume-se à quantificação da movimentação da água num sistema de determinada região (entradas e saídas) por determinado intervalo de tempo, além da quantidade líquida de água que permanece no solo, tendo como base para os cálculos uma série de dados climatológicos (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). O Balanço Hídrico Sequencial é utilizado, frequentemente, para caracterização e análise da variação em um período determinado. Ele é calculado de maneira semelhante ao Balanço Hídrico Normal, diferindo apenas na consideração inicial do cálculo do Balanço, iniciado neste caso, quando o armazenamento do solo no período úmido seja pleno, ou seja, quando o armazenamento é igual à capacidade de água disponível no solo ($ARM = CAD$).

O roteiro para a elaboração do cálculo do Balanço Hídrico Sequencial proposto por Thornthwaite e Mather (1955) consiste nos seguintes passos, conforme descrito por Pereira *et al.* (1997), Estevam (2013) e Estevam (2019):

- I) Aquisição dos dados de precipitação (P);
- II) Aquisição dos dados de temperatura (T);
- III) Determinação do CAD (capacidade de água disponível) do solo;

IV) Cálculo da Evapotranspiração Potencial (ETP);

V) Cálculo de (P-ETP), tendo-se o cuidado de manter o sinal positivo ou negativo;

VI) Cálculo simultâneo Negativo Acumulado (NAc), que representa o Negativo acumulado do solo (o quanto variou negativamente) e, o Armazenamento (ARM), ou seja, o quanto de água encontra-se armazenado no solo;

Para isso, deve-se considerar:

CASO 1: Se $\Sigma(P-ETP)_{\text{anual}} \geq 0 \rightarrow$ Neste caso, $ARM = CAD$ no último período da estação úmida.

CASO 2: Se $\Sigma(P-ETP)_{\text{anual}} < 0$, mas $\Sigma+(P-ETP) \geq CAD \rightarrow$ Igual ao caso 1.

CASO 3: Se $\Sigma(P-ETP)_{\text{anual}} < 0$, mas $\Sigma+(P-ETP) < CAD \rightarrow NAc = CAD \cdot \ln[(\Sigma+(P-ETP)/CAD)/(1 - e^{\Sigma+(P-ETP)/CAD})]$, no último período da estação úmida.

Após isso:

\rightarrow Se $(P-ETP) < 0$: Calcula-se primeiro NAc, que consiste nos valores de (P-ETP) negativos e, depois ARM considerando que $ARM = CAD e^{-|NAc/CAD|}$;

\rightarrow Se $(P-ETP) > 0$: Calcula-se primeiro o ARM, considerando que $ARM = ARM_{\text{anterior}} + (P-ETP)$ e, depois o NAc, através do inverso da equação do caso anterior, ou seja, $NAc = CAD \cdot \ln(ARM/CAD)$.

VII) Cálculo da alteração da água armazenada (ALT); onde $ALT = \Delta ARM$, ou seja, $ALT = ARM - ARM_{\text{anterior}}$. Se $ALT > 0$ é porque houve reposição de água no solo, se $ALT < 0$, retirada.

VIII) Determinação da Evapotranspiração Real (ETR), considerando para isso:

\rightarrow Se $(P-ETP) < 0$: $ETR = P + |ALT|$;

\rightarrow Se $(P-ETP) > 0$: $ETR = ETP$

IX) Cálculo da Deficiência hídrica (DEF), ou seja, a falta de água do solo. Através da fórmula $DEF = ETP - ETR$;

X) Cálculo do Excedente hídrico (EXC), para isso:

\rightarrow Se $ARM < CAD$: $EXC = 0$;

\rightarrow Se $ARM = CAD$: $EXC = (P-ETP) - ALT$.

A partir dos dados da estação automática Marambaia-A602 do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET -citada anteriormente – foi realizada a análise da disponibilidade hídrica para as florestas de mangue de Guaratiba. Os parâmetros do balanço hídrico Sequencial utilizados nesta análise, com dados de janeiro de 2008 a dezembro de 2019 em valores mensais, foram: evapotranspiração potencial (mm), armazenamento (mm) e déficit/excedente hídrico (mm). Para isso foram descritos o seu comportamento ao longo da série temporal, suas médias mensais e valores nos períodos seco e úmido de Guaratiba.

3.3 Análises Estatísticas

3.3.1 Produção de serapilheira e o gradiente de frequência de inundação pelas marés

Para verificar diferenças da produção de serapilheira entre os tipos fisiográfico do manguezal de Guaratiba, inicialmente foi verificado se os dados da produção média anual possuíam uma distribuição normal pelo método Komogorov-Smirnov ($p > 0.20$). A finalidade desse teste estatístico é saber se os dados utilizados neste estudo são paramétricos (distribuição normal) ou não paramétricos e com isso saber quais testes estatísticos poderiam ser aplicados. O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov apontou que os dados possuem distribuição normal para os três tipos fisiográficos, com $p > 0,20$. Com isso, pode ser realizada análise de variância (ANOVA One-Way) com nível de significância de $p < 0,05$, para testar a hipótese de que há diferença da produção de serapilheira entre os tipos fisiográficos e posteriormente verificar onde está a diferença. O teste usado a posteriori foi o de Tukey, considerando $p < 0,05$. Todos os testes estatísticos foram realizados através do pacote STATISTICA® 13.0 . Esta metodologia também foi realizada para testar se há diferença na salinidade da água intersticial no manguezal de Guaratiba a partir dos dados de salinidade intersticial média anual de cada tipo fisiográfico de 2009 a 2019.

Para avaliar o efeito da frequência de inundação pelas marés e salinidade sobre a produção de serapilheira foram comparados os resultados obtidos pela metodologia descrita acima, juntamente com regressão linear entre a produção de serapilheira (variável dependente) com a salinidade intersticial e microtopografia (variáveis independentes) (Estrada *et. al*, 2013) do manguezal de Guaratiba. As regressões foram feitas no programa R Studio ®,

onde foi possível obter a equação da reta, o coeficiente de determinação (R^2) e valor-P ($p < 0,05 =$ significativo).

Comparações com a fitossociologia do manguezal de Guaratiba também foram realizadas com dados publicados pelo NEMA/UERJ (ESTRADA et al., 2013; SOARES et al., 2017). Para isso, foram utilizados dados dos parâmetros estruturais (variáveis independentes) de cada tipo fisiográfico para comparação com a produção média histórica de serapilheira (variável dependente). Foram feitas regressões no programa R Studio®, onde foi possível obter a equação da reta, o coeficiente de determinação (R^2) e valor-P ($p < 0,05 =$ significativo).

Comparação entre a contribuição de folhas por espécie na serapilheira e a biomassa foliar também foram realizadas a partir de regressões simples e múltiplas. Para isso, foram utilizados modelos alométricos específicos oriundos de estudos realizados na mesma área de estudo com os dados estruturais apresentados em Estrada *et. al*, 2013. Como há a ocorrência de três espécies, foi utilizado um modelo apropriado para cada uma. No caso de *R. mangle* e *L. racemosa*, as equações utilizadas encontram-se nos estudos de Soares (1997) e Soares e Schaeffer-Novelli (2005). Para *A. schaueriana* foram utilizados os modelos apresentados por Estrada *et al.*, (2014). Os modelos foram escolhidos tendo como base o menor valor de EPEc% (erro padrão de estimativa corrigido). Os modelos utilizados são apresentados na **Tabela 2**.

Para cada árvore viva de cada espécie presente em cada uma das estações (Franja - P1A, P2A, P3A; Bacia - P1C, P2C, P3C; Transição; P1E, P2E P3E) foi aplicado o modelo específico para a estimativa da biomassa de folhas. Em seguida, foram calculados os valores de biomassa foliar total para cada espécie em cada uma das estações a partir da soma dos valores de árvores de mesma espécie. A partir desses valores foi possível obter a biomassa foliar ($t \cdot ha^{-1}$) para cada espécie em cada uma das estações, conforme a área da parcela e determinar a contribuição de folhas vivas (biomassa foliar) de cada espécie em cada estação.

Tabela 2 – Modelos utilizados para estimativa da biomassa foliar das espécies de mangue (SOARES, 1997; SOARES;SCHAEFFER-NOVELLI, 2005; ESTRADA et al., 2014).

Espécie	Modelo de biomassa foliar
<i>Laguncularia racemosa</i>	$\ln(\text{biomassa}) = 2,26265 + 2,01186 \ln(\text{DAP})$
<i>Rhizophora mangle</i>	$\ln(\text{biomassa}) = 2,93991 + 2,04865 \ln(\text{DAP})$
<i>Avicennia schaueriana</i>	$\text{Biomassa} = 19,0708 \times (\text{DAP})^{2,1418}$

Legenda: DAP = diâmetro à altura do peito;

Unidades utilizadas: Biomassa em gramas(g); DAP em centímetro (cm)

3.3.2 Variabilidade temporal da produção de serapilheira

Diferenças e variações interanuais

Através desta etapa do estudo pretendia-se entender os padrões sazonais e interanuais da produção de serapilheira das florestas de mangue de Guaratiba e os fatores que a controlam. Para isso, inicialmente são apresentadas análises descritivas da produção de serapilheira e os fatores abióticos associados entre os anos e meses.

Para averiguar diferenças interanuais da produção de serapilheira e os compartimentos que a compõe foi realizado análise de variância ANOVA de medidas repetidas com nível de significância de $p < 0,05$, para testar a similaridade das produções entre os anos e posteriormente verificar entre quais anos correm estas diferenças. O teste usado a posteriori foi o de Tukey, considerando $p < 0,05$. Todos os testes estatísticos foram realizados através do pacote STATISTICA®.

Para visualizar a variação ao longo dos anos da serapilheira e seus compartimentos, utilizou-se a componente tendência obtida por decomposição clássica aditiva. O teste Mann-Kendall também foi utilizado para determinar se as séries temporais de produção dos compartimentos apresentam tendência estatisticamente significativa de aumento ou diminuição ao longo da série.

Identificação de ciclos

Para identificação de ciclos na produção de serapilheira foi utilizado a transformada de Ondaleta. Esta análise tem como finalidade decompor uma série temporal em um espaço de tempo-frequência, tornando possível determinar tanto os modos de variabilidade dominantes quanto como esses modos variam no tempo.

A transformada de Ondaleta utiliza uma função ondaleta $\psi(t)$ que depende do tempo t . Por definição, essa função deve apresentar média nula e estar tanto no domínio do tempo quanto da frequência. Neste trabalho a função ondaleta utilizada é a ondaleta Morlet que consiste em uma onda plana modulada por uma Gaussiana (TORRENCE; COMPO, 1998).

Para verificar a variabilidade da série, a transformada testa a hipótese nula de “não periodicidade” a partir de simulações. A partir deste teste dois tipos de gráfico foram gerados: escalograma de potência e gráfico de potência média global da ondaleta. O escalograma mostra no eixo horizontal o período da série temporal inserida na transformada, no eixo vertical, os períodos de Fourier (períodos de variabilidade) em potências de 2, e na escala de

cores, a probabilidade de haver periodicidade, com áreas no gráfico com cores quentes (amarelo, laranja e vermelho) mostrando regiões com maiores probabilidades e cores frias (azul e verde) mostrando onde há menor ou nenhuma probabilidade de variabilidade. A linha branca contorna áreas com periodicidade significativa (onde a hipótese nula é rejeitada com nível de significância de 10%) e a linha preta indica a região com máximo de significância. O cone de influência nas bordas superiores do gráfico exclui áreas com efeito de borda. Já o gráfico de potência média global calcula a média da potência para cada período no eixo vertical em todo o tempo analisado, mostrando quais os períodos de variabilidade são mais expressivos durante todo o tempo analisado.

Atualmente, a transformada de ondaleta tem sido bastante utilizada em estudos meteorológicos e oceanográficos (ELSAYED, 2010; ESTEVAM; FERNANDES; GOMES SOARES, 2020; MEYERS; BRIEN, 1994; TORRENCE; COMPO, 1998). Neste trabalho utilizou-se a função WaveletComp no software R Studio para a geração do espectro de potência (ROESCH; SCHMIDBAUER, 2018). Uma vez que a transformada de ondaleta não aceita séries de dados com dados faltantes, optou-se por preencher as lacunas com o valor médio calculado em todo o período para cada variável, uma vez que esta análise capta a variabilidade dos dados e filtra, assim, a média dos mesmos (IWUEZE et al., 2018).

3.3.3 Produção de serapilheira e fatores abióticos associados

A fim de atingir o objetivo de verificar como as variáveis meteorológicas (temperatura do ar, precipitação acumulada, umidade relativa do ar e radiação) e as variáveis relacionadas ao balanço hídrico (excedente, déficit e armazenamento hídrico) atuam sobre a produção de serapilheira, foram feitas regressões lineares simples entre os parâmetros meteorológicos e variáveis do balanço hídrico (variáveis independentes) e a produção total de serapilheira de cada tipo fisiográfico (variáveis dependentes). Para isso, foram utilizados dados do período agosto/2008 a julho/2009 e janeiro/2016 a dezembro/2019 a fim retirar os anos de forte influência da praga no manguezal de Guaratiba das análises.

A partir dessas informações, foram testadas regressões múltiplas entre a produção de serapilheira ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) (variável dependente) e todas as variáveis climatológicas e de balanço hídrico (variáveis independentes) que foram significativas na regressão simples citada acima, denominado Modelo-I. Posteriormente foram testadas regressões múltiplas entre a

produção de serapilheira ($\text{g.m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) (variável dependente) e as variáveis climatológicas e de balanço hídrico (variáveis independentes) que não fossem dependentes entre si, denominado Modelo-II. Os dois modelos foram comparados para cada tipo fisiográfico conforme o coeficiente de determinação R^2 .

As relações entre os compartimentos da serapilheira e as variáveis climáticas e do balanço hídrico também foram analisadas. Para isso, foram geradas matrizes de correlação (Pearson) entre as produções dos compartimentos e as variáveis climatológicas e de balanço hídrico. Estas análises foram realizadas no software R Studio 2022.

3.3.4 Produção de serapilheira e fatores bióticos associados

A metodologia utilizada para testar os efeitos da desfolhação severa sobre a produção de folhas na serapilheira teve como base a observação da variação da produção média anual de folhas na serapilheira ($\text{t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). Após a visualização dos dados anuais foi realizada, para cada tipo fisiográfico (franja, bacia e transição), decomposição clássica aditiva (MCLEOD; YU; MAHDI, 2012) das séries temporais de folhas de cada espécie a partir da produção mensal ($\text{g.m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) a fim de observar o comportamento das diferentes componentes (BARROW, 2013; CARINO BOUZADA, 2012), conforme expressão a seguir:

$$\mathbf{X}_t = \mathbf{S}_t + \mathbf{T}_t + \mathbf{R}_t$$

Onde:

\mathbf{X}_t - Valores reais da série analisada

\mathbf{S}_t - componente Sazonalidade - descreve as flutuações que acontecem com determinada periodicidade;

\mathbf{T}_t - componente Tendência - representa mudanças no nível da série na variável tempo no comportamento a longo prazo dos dados;

\mathbf{R}_t - componente Aleatoriedade ou Ruído – descreve a parte indistinguível dos dados, e espera-se que seja apenas aleatória.

O teste Mann-Kendall (Kendall, 1975, Mann, 1945) também foi utilizado para determinar se as séries temporais de produção de folhas apresentam tendência estatisticamente significativa de aumento ou diminuição conforme a ocorrência da praga entre 2009 e 2010. As hipóteses adotadas para o Teste Mann-Kendall são: \mathbf{H}_0 (hipótese nula): Não há tendência presente nos dados; \mathbf{H}_A (hipótese alternativa): Uma tendência está presente nos dados que pode ser de aumento ou de diminuição. Caso a hipótese nula seja rejeitada, significará a

existência de tendência significativa, sendo que o sinal da estatística Z indica se a tendência é positiva ($Z > 0$) ou negativa ($Z < 0$).

A partir da componente Tt da decomposição clássica aditiva foi possível observar a redução da produção da espécie herbivorada e as mudanças nos demais compartimento da serapilheira, como de galhos e ramos. O fim do efeito da praga e a consequente recuperação da floresta foi avaliado nas séries temporais tendo como base as oscilações de valores da produção anual de folhas, onde a curva de recuperação da produção se estabeleceu em valores próximos aos observados antes do evento da praga (2009). As espécies não herbivoradas também foram analisadas para caracterização do seu comportamento frente à praga. A partir dessas informações foi possível identificar o ano ápice da desfolhação, calcular o impacto da praga na produção, o tempo do reflexo da praga, os efeitos por espécies e os indícios de regeneração da espécie afetada. Com os resultados do teste Mann-Kendall foi possível verificar a existência de tendência em cada série, sendo possível identificar o comportamento geral de cada espécie, auxiliando na avaliação do processo de regeneração da espécie afetada com a interferência inicial da praga.

Para realização da decomposição das séries temporais de folhas e aplicação do teste de tendência de Mann-Kendall foi utilizado o software R Studio, utilizando os pacotes `fpp2`, `ggplot2`, `seasonal` e `trend`.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de Serapilheira no manguezal de Guaratiba e o Gradiente de Frequência de Inundação Pelas Marés

4.1.1 Caracterização geral

4.1.1.1 Produção de serapilheira

Durante o período em estudo, o manguezal de Guaratiba apresentou máxima de produção média histórica de serapilheira de $12,15 \pm 1,28 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na franja e mínima de $8,08 \pm 2,08 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na transição da floresta (**Tabela 3 a Tabela 5**). A bacia apresentou resultado intermediário entre os demais tipos fisiográficos, com produção média histórica de serapilheira de $8,31 \pm 0,72 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (**Tabela 4**).

Tabela 3 – Produção média histórica de serapilheira ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) nas florestas de franja do manguezal de Guaratiba – RJ entre 2009 e 2019.

COMPARTIMENTOS		Produção média histórica ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)	
SERAPILHEIRA		Média \pm desvio padrão	Contribuição percentual
Folhas	<i>R. mangle</i>	$4,93 \pm 0,60$	41%
	<i>A. schaueriana</i>	$2,02 \pm 0,37$	17%
	<i>L. racemosa</i>	$0,15 \pm 0,15$	1%
	<i>Total</i>	$7,10 \pm 0,78$	58%
Estípulas		$0,70 \pm 0,05$	6%
Flores		$0,37 \pm 0,08$	3%
Propágulos	<i>R. mangle</i>	$1,45 \pm 0,71$	12%
	<i>A. schaueriana</i>	$0,87 \pm 0,45$	7%
	<i>L. racemosa</i>	$0,03 \pm 0,05$	0%
	<i>Total</i>	$2,35 \pm 0,83$	19%
Galhos e ramos		$1,31 \pm 0,51$	11%
Miscelânea		$0,32 \pm 0,13$	3%
Outras espécies		$0,01 \pm 0,02$	0%
Total		$12,15 \pm 1,28$	100%

A maior parte da produção de serapilheira nas florestas de mangue foi composta de folhas: 58% nas florestas de franja (**Tabela 3**), 67% nas florestas de bacia (**Tabela 4**) e 65% nas florestas de transição (**Tabela 5**). A produção de propágulos foi de 19% nas florestas de franja e 8% nas florestas de bacia e de franja. A produção de galhos e ramos na franja foi de 11% do total, enquanto nas florestas de bacia e de transição esse compartimento contribuiu com 16% e 20% da produção total respectivamente. As estípulas contribuíram com 6% na franja, 5% na bacia e 1% na transição da floresta, já a contribuição de flores foi de 3% na franja e de 2% na bacia e transição.

Nas florestas de franja (**Tabela 3**) o compartimento folhas foi composto principalmente de *R. mangle* ($4,93 \pm 0,60$ t.ha⁻¹.ano⁻¹), compondo 41% da produção média total. Os propágulos desta espécie também foram os mais representativos, com $1,45 \pm 0,71$ t.ha⁻¹.ano⁻¹, 12% do total. As folhas e os propágulos de *A. schaueriana* contribuíram com 17% e 7% para o total, respectivamente.

Tabela 4 – Produção média histórica de serapilheira (t.ha⁻¹.ano⁻¹) nas florestas de bacia do manguezal de Guaratiba – RJ entre 2009 e 2019.

COMPARTIMENTOS		Produção média histórica (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	
SERAPILHEIRA		Média ± desvio padrão	Contribuição percentual
Folhas	<i>R. mangle</i>	2,91 ± 0,55	35%
	<i>A. schaueriana</i>	2,38 ± 0,75	29%
	<i>L. racemosa</i>	0,25 ± 0,21	3%
	Total	5,54 ± 0,88	67%
Estípulas		0,44 ± 0,10	5%
Flores		0,14 ± 0,06	2%
Propágulos	<i>R. mangle</i>	0,33 ± 0,21	4%
	<i>A. schaueriana</i>	0,30 ± 0,26	4%
	<i>L. racemosa</i>	0,01 ± 0,02	0%
	Total	0,64 ± 0,32	8%
Galhos e ramos		1,30 ± 0,76	16%
Miscelânea		0,26 ± 0,20	3%
Outras espécies		0,00 ± 0,00	0%
Total		8,31 ± 0,72	100%

Nas florestas de bacia o compartimento folhas foi composto principalmente de *R. mangle* e *A. schaueriana*, com $2,91 \pm 0,55$ t.ha⁻¹.ano⁻¹ (35% da produção total) e $2,38 \pm 0,75$ t.ha⁻¹.ano⁻¹ (29% da produção total), respectivamente. Os propágulos dessas espécies também foram os mais representativos, com $0,33 \pm 0,21$ t.ha⁻¹.ano⁻¹ (4% da produção total) e $0,30 \pm 0,26$ t.ha⁻¹.ano⁻¹ (4% da produção total), para *R. mangle* e *A. schaueriana*, respectivamente.

Tabela 5 – Produção média histórica de serapilheira ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) nas florestas de transição do manguezal de Guaratiba – RJ entre 2009 e 2019.

COMPARTIMENTOS		Produção média histórica ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$)	
SERAPILHEIRA		Média \pm desvio padrão	Contribuição percentual
Folhas	<i>R. mangle</i>	$0,61 \pm 0,64$	7%
	<i>A. schaueriana</i>	$3,98 \pm 1,89$	49%
	<i>L. racemosa</i>	$0,70 \pm 0,29$	9%
	<i>Total</i>	$5,28 \pm 2,14$	65%
Estípulas		$0,08 \pm 0,06$	1%
Flores		$0,16 \pm 0,08$	2%
Propágulos	<i>R. mangle</i>	$0,08 \pm 0,10$	1%
	<i>A. schaueriana</i>	$0,54 \pm 0,42$	7%
	<i>L. racemosa</i>	$0,03 \pm 0,05$	0%
	<i>Total</i>	$0,65 \pm 0,46$	8%
Galhos e ramos		$1,59 \pm 1,39$	20%
Miscelânea		$0,31 \pm 0,39$	4%
Outras espécies		$0,00 \pm 0,00$	0%
Total		$8,08 \pm 2,08$	100%

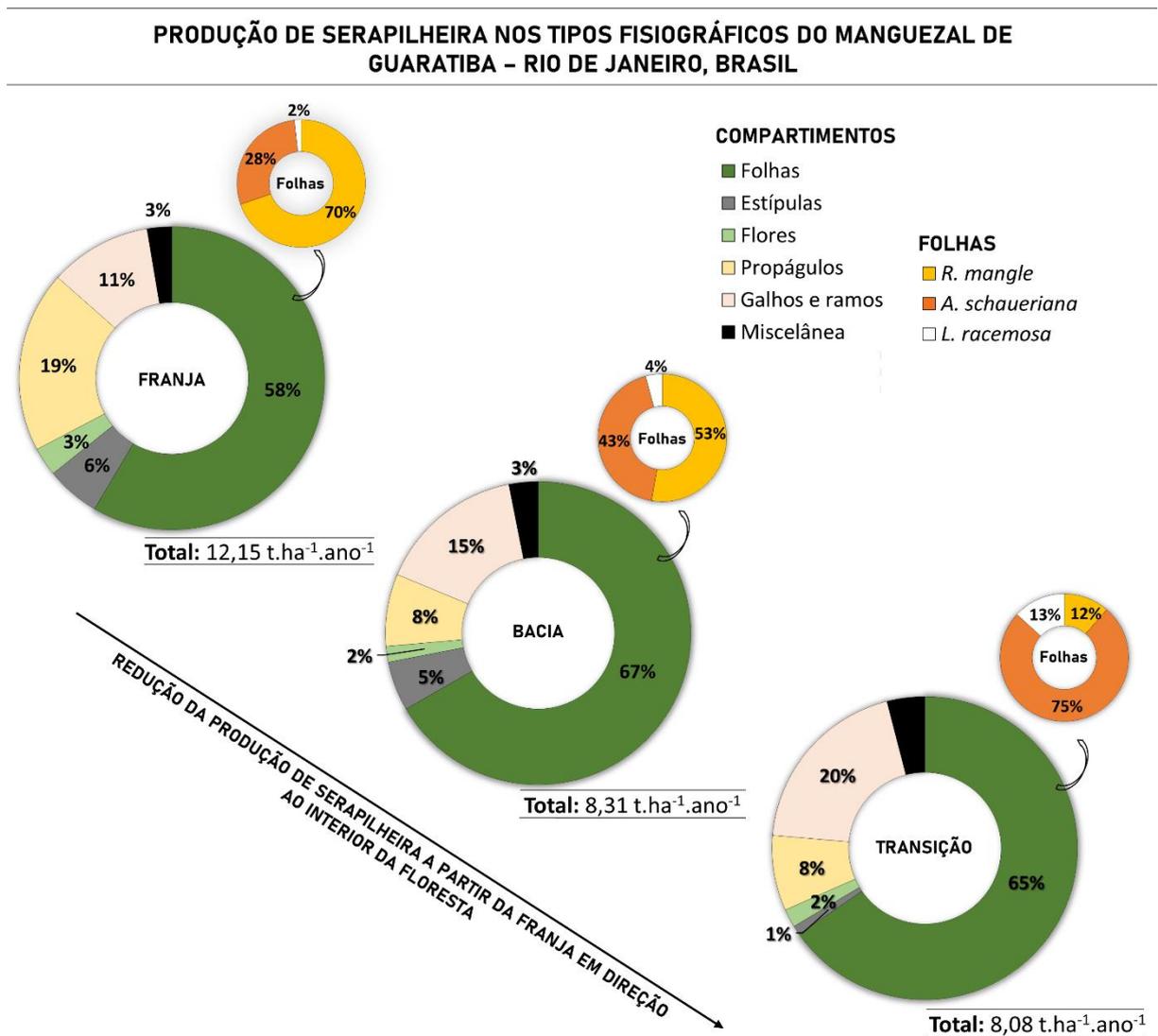
Nas florestas de transição *A. schaueriana* foi a espécie com maior contribuição de folhas ($3,98 \pm 1,89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$), seguida de *L. racemosa*, com $0,70 \pm 0,29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Os propágulos de *A. schaueriana* também apresentaram maior contribuição quando comparada às outras espécies, com $0,54 \pm 0,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

A **Figura 7** apresenta a contribuição relativa dos compartimentos para a produção de serapilheira em cada tipo fisiográfico do manguezal de Guaratiba. Ao analisar a contribuição de cada um dos compartimentos, observamos a predominância de folhas em todos os tipos fisiográficos (**Figura 7**). Depois das folhas, temos galhos e ramos para as áreas de bacia e transição, e propágulos para a área de franja como o segundo compartimento mais expressivo neste estudo.

Com essas informações pode-se afirmar que o manguezal de Guaratiba apresenta o seguinte ordenamento, de maior para menor contribuição relativa pelos compartimentos, para a produção de serapilheira:

- ✚ **Franja:** folhas > propágulos > galhos e ramos > estípulas > flores.
- ✚ **Bacia:** folhas > galhos e ramos > propágulos > estípulas > flores.
- ✚ **Transição:** folhas > galhos e ramos > propágulos > flores > estípulas.

Figura 7 – Contribuição relativa dos compartimentos para a produção de serapilheira nas florestas de mangue dos diferentes tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019. Os gráficos menores apresentam a contribuição relativa das espécies de mangue para o compartimento folhas.



Fonte: O autor, 2022.

Desta forma, em relação aos compartimentos de maior aporte (folhas, galhos e ramos e propágulos) a franja apresentou configuração diferente dos demais tipos fisiográficos, com propágulos tendo maior contribuição que galhos e ramos para a produção de serapilheira, esta configuração pode estar relacionada à ocorrência das espécies, visto que nas florestas de franja do manguezal de Guaratiba há grande presença de *Rhizophora mangle* que possui propágulos de maior peso. Já para os compartimentos de menor contribuição (estípulas e flores) o tipo fisiográfico transição foi o único a apresentar produção de flores maior que estípulas.

De acordo com Odum *et. al* (1982) a queda de serapilheira refere-se a folhas, madeira (galhos), estípulas, propágulos, brácteas, flores e excrementos de insetos que caem das árvores e a queda de serapilheira normalmente pode ser dividida em 68% a 86% de folhas, 3% a 15% de galhos e 8% a 21% de flores e propágulos mais diversos. As primeiras medições de queda de serapilheira em manguezais foram feitas em North River, no sul da Flórida entre 1966 e 1969 (HEALD, 1969). De acordo com Heald (1969), os compartimentos da serapilheira, possuem ordem de importância de folhas, estípulas, galhos e flores, com a produção de folhas compondo cerca de 83% da produção total.

Woodroffe (1982), em Shoal Bay na Nova Zelândia, encontrou padrão de contribuição dos compartimentos da serapilheira de Folhas > galhos e ramos > frutos > flores, semelhante ao observado nas florestas de bacia e transição de Guaratiba, quando analisado os três compartimentos de maior contribuição (folhas, galhos e ramos e frutos). Em Bernini e Rezende (2010), em floresta de mangue de São Francisco de Itabapoana (RJ), composta por *A. germinans*, *L. racemosa* e *R. mangle* a sequência dos compartimentos da serapilheira foi descrita como folhas > frutos > galhos e ramos > flores > miscelânea, condizente com a franja de Guaratiba para os três compartimentos de maior contribuição para a serapilheira.

De acordo com a produção média anual histórica do período de onze anos estudado em Guaratiba, os resultados obtidos para averiguar a contribuição dos componentes da serapilheira estão de acordo com aqueles obtidos por Fernandes (1997), Mehlig (2001), Chaves (2007), Gonçalves *et al.* (2006) e Machado (2014), onde a produção de serapilheira é diretamente influenciada pelas taxas de queda da componente folhas. Este comportamento é considerado o mais importante da serapilheira, uma vez que atinge altas porcentagens da produção total (FERNANDES, 1997; HEALD, 1969; MEHLIG, 2001; ODUM; HEALD, 1975a; ODUM; MCIVOR; SMITH III, 1982; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975). Em alguns casos pode ultrapassar 80%, independentemente da latitude, das condições meteorológicas ou do tipo de floresta (DAY JR et al., 1996; MEHLIG, 2001). De acordo com Larcher (2000), as folhas recém-formadas apresentam alta capacidade fotossintética e grande atividade do metabolismo do nitrogênio, justificando a substituição frequente de folhas velhas por folhas novas, o que contribui para que este seja o compartimento de produção mais expressiva em todos os tipos fisiográficos.

O padrão de segundo e terceiro lugar de maior aporte dos compartimentos da serapilheira serem de propágulos e galhos e ramos em Guaratiba são condizentes com diversos estudos, como em Snedaker e Brown (1981) na Florida, EUA; Duke *et al.* (1981) no

Nordeste da Austrália; Sasekumar e Loi (1983) na Península Malaia, Malásia; Steinke e Ward (1988), na África do Sul; e Chaves (2007) na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro.

A produção de folhas e galhos e ramos apresentam contribuições superiores, enquanto a produção de estípulas apresentam contribuições inferiores aos apresentados em Duke *et al.* (1981), principalmente nas áreas de bacia e transição. De acordo com Duke *et al.* (1981), no Nordeste da Austrália, mais da metade da produção de serapilheira foi atribuída às folhas, representado 57,4% do total, seguida por partes reprodutivas (frutos e propágulos), compondo 16,3% da queda de serapilheira, com pequenas contribuições da madeira, estípulas e detritos contribuindo com 9,9%, 8,7% e 7,2%, respectivamente. A produção de propágulos na franja de Guaratiba (19%) foi a única a apresentar contribuição próxima aos resultados apresentados por Duke *et al.* (1981).

As contribuições de galhos e ramos na franja (11%) e folhas na bacia (67%) e transição (65%) do presente estudo foram semelhantes ao relatado por Gladstone-Gallagher *et al.* (2014) em Porto de Whangamata (Nova Zelândia), onde a serapilheira anual consistia em 60% - 65% de folhas e 9% - 11% de galhos e ramos. A contribuição de folhas na franja juntamente com a contribuição de galhos e ramos na franja e bacia foram semelhantes ao relatado por Kamruzzaman *et al.* (2019) em uma comunidade de mangue dentro da zona oligohalina (salinidade < 2) de Sundarbans, Bangladesh. Em Kamruzzaman *et al.* (2019) folhas constituíram 58,4% da produção, enquanto galhos e ramos 13%. Ainda segundo esses autores, as contribuições dos órgãos reprodutivos para a queda total da serapilheira observadas foram de 16,9%, valor menor do que encontrado na franja do presente estudo.

A alta contribuição por parte dos galhos e ramos destaca-se no tipo fisiográfico bacia e transição do manguezal de Guaratiba. De acordo com Soares *et al.* (2017) há uma tendência de decréscimo do desenvolvimento estrutural a partir da margem do rio Piracão até a zona de transição, na interface entre o manguezal e a planície hipersalina. Assim, à medida que a altura média e o DAP diminuem, a densidade de troncos aumenta progressivamente. Com isso, é observado baixo desenvolvimento estrutural, com alta densidade de troncos, e valores baixos de diâmetro à altura do peito e altura, ou seja, estágio inicial de desenvolvimento (ESTRADA, 2013; MACHADO, 2014). Com estas informações, temos uma indicação de que um processo dinâmico de amadurecimento está ocorrendo na floresta. Nos estágios iniciais de desenvolvimento, é possível que a queda de galhos seja uma condição natural de desbaste das partes menos eficientes da planta à medida que o indivíduo cresce e sofre auto-sombreamento, como observado por Chaves (2007). Por outro lado, o padrão observado na transição pode ser

uma resposta ao estresse ambiental nestas regiões ocasionado pela salinidade elevada e baixa frequência de inundações pelas marés (ESTRADA, 2013; SOARES et al., 2017).

De acordo com Cardoso (2014) há variabilidade na produção de propágulos do manguezal de Guaratiba pelas espécies e tipos fisiográficos com *A. schaueriana* apresentando produção em ordem decrescente de franja > transição > bacia, *R. mangle* franja>bacia (ausente na transição) e *L. racemosa* transição>franja> bacia. Estas configurações podem ser responsáveis pelas diferenças dos padrões encontrados nas zonas do manguezal de Guaratiba, visto que propágulos de *R. mangle*, que são produzidos em maior quantidade nas áreas de franja, possuem maior biomassa quando comparado às demais espécies de mangue em Guaratiba (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983), tornando a produção de propágulos na franja mais relevante que galhos e ramos, diferente das demais áreas da floresta.

A comparação entre os valores encontrados para Guaratiba e outros estudos no Brasil (**Tabela 6**) mostra que as florestas de franja de Guaratiba apresentam maiores produções de serapilheira quando comparadas a florestas de franja em Bragança – PA (FERNANDES, 1997), Pacatuba – SE (MENEZES, 2010), Rio Itabapoana - RJ/ES (BERNINI et al., 2014), Baía de Sepetiba – RJ (MACHADO, 2014), Bertioga - SP (PONTE et al., 1984), Baía de Antonina e Baía de Guaratuba - PR (LARCHER et al., 2014) e Baía de Paranaguá – PR (SESSEGOLO, 1997). Para os estudos onde foi identificado o tipo fisiográfico bacia, a bacia de Guaratiba apresentou maior produção quando comparada a Ponte *et al.* (1984) e Sessegolo (1997) e menor em relação a Machado (2014), Mehlig (2001) e Longo (2009).

Em comparação com os resultados de Chaves (2007) (**Tabela 6**), na Baía de Guanabara - RJ, todos os tipos fisiográficos do presente estudo apresentam menores valores de serapilheira, com exceção de uma floresta de franja estudada pelo referido autor, que apresenta 9,83 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Em relação à Baía de Sepetiba – RJ (MACHADO, 2014), a produção de serapilheira segue um padrão diferente entre os tipos fisiográficos. A produção na franja apresenta maior valor enquanto a transição menor valor no manguezal de Guaratiba quando comparado aos tipos fisiográficos correspondentes na Baía de Sepetiba. Em Menezes (2010), as florestas de bacia apresentam maiores produções (10,06 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e 14,48 t.ha⁻¹.ano⁻¹) em relação às florestas de mesmo tipo fisiográfico em Guaratiba. A floresta de transição em Menezes (2010) também apresenta valor elevado (11,24 t.ha⁻¹.ano⁻¹), enquanto a franja apresenta valor inferior (10,88 t.ha⁻¹.ano⁻¹) aos registrados na franja de Guaratiba.

Comparando os resultados encontrados em Guaratiba com estudos no Equador (2° 05´S; TWILLEY et al., 1997) (**Tabela 6**), é visto que a franja de Guaratiba mesmo em maior latitude (23°00´S) apresenta valores superiores aos registrados em florestas do tipo

fisiográfico ribeirinho no Equador, que variam de 6,39 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 10,55 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Entretanto, resultados da Malásia (3°15'N) obtidos por Sasekumar e Loi (1983), mostram possível influência da latitude na produção, com produções nos tipos fisiográficos franja (15,4 t.ha⁻¹.ano⁻¹), bacia (14,02 t.ha⁻¹.ano⁻¹) e transição (15,77 t.ha⁻¹.ano⁻¹) superiores aos das mesmas zonas no manguezal de Guaratiba, principalmente das florestas de bacia e transição. Outros manguezais da Malásia também apresentam maiores produções em comparação ao manguezal de Guaratiba, como em Ong *et al.* (1980) com 19,88 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e Ong *et al.* (1982) com 23,40 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

Manguezais da Colômbia, Guiana Francesa, Tanzânia e Guiana (**Tabela 6**) também apresentam maiores produções de serapilheira quando comparados ao manguezal de Guaratiba (BETOULLE *et al.*, 2001; CHALE, 1996; HERNÁNDEZ; MULLEN, 1979; SHUNULA; WHITTICK, 1999). Manguezais no Vietnã (CLOUGH *et al.*, 2000; NGA *et al.*, 2005) também apresentam produções elevadas, variando de 9,41 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 18,79 t.ha⁻¹.ano⁻¹, com apenas produções em duas florestas (9,41 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e 10,95 t.ha⁻¹.ano⁻¹) com valores inferiores aos da franja de Guaratiba.

A produção da franja de Guaratiba se mostrou superior às florestas de franja e ribeirinho do Sri Lanka (AMARASINGHE; BALASUBRAMANIAM, 1992) (**Tabela 6**), que variam de 3,74 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 9,86 t.ha⁻¹.ano⁻¹, florestas de franja e demais da Tailândia (AKSORKOAE; KHEMNARK, 1984; AKSORKOAE; KONGSANGCHAI; JINTANA, 1987; CHRISTENSEN, 1978; POOVACHINARANON; CHANSANG, 1982), que variam de 3,44 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 9,86 t.ha⁻¹.ano⁻¹; e florestas ribeirinhas e demais na Indonésia (BROTONEGORO; ABDULKADIR, 1979; SUKARDJO, 1989; SUKARDJO; YAMADA, 1992), que variam de 4,94 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 8,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹.

Manguezais da Austrália apresentam produção de serapilheira com faixa de variação semelhante à Guaratiba (**Tabela 6**), exibindo áreas com valores inferiores à zona de transição em alguns locais de acordo com Bunt (1995). A produção em áreas identificadas de franja e bacia variam de 3,00 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 12,50 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em Darwin Harbor (WOODROFFE *et al.*, 1988) e florestas não identificadas variam de 3,10 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 11,70 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (BUNT, 1995; DUKE; BUNT; WILLIAMS, 1981; MACKEY; SMAIL, 1995).

A produção nos tipos fisiográficos de Guaratiba é superior aos resultados apresentados por Day *et al.* (1996) na Laguna de Términos no México (**Tabela 6**), onde a produção na franja foi de 7,93 t.ha⁻¹.ano⁻¹, na floresta anã foi de 3,07 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e na floresta de bacia variou de 4,1 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 4,96 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Entretanto, em Campeche no México, florestas ribeirinhas apresentam produção elevada de serapilheira, variando de 11,2 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 16,5

t.ha⁻¹.ano⁻¹. Os valores de serapilheira da franja de Guaratiba são parecidos com valores de florestas na Índia (WAFAR; UNTAWALE; WAFAR, 1997) e de florestas de franja, ribeirão, bacia e não classificadas na Ilha de Hainan, Futian e Hong Kong na China (LEE, 1989, 1990; LIN et al., 1990; TAM et al., 1998).

Em comparação com tipos fisiográficos de alguns manguezais nos Estados Unidos da América (HEALD; ROESSLER; BEARDSLEY, 1979; LUGO; SNEDAKER, 1973, 1975; MACIEJ SERDA, 2013; MCKEE; FAULKNER, 2000; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975; TEAS, 1976; TWILLEY; 1952-, 1982; TWILLEY; LUGO; PATTERSON-ZUCCA, 1986) (**Tabela 6**), Guaratiba apresenta, em grande parte, maiores produções em todos os tipos fisiográficos. Entretanto outros estudos (DAWES; SIAR; MARLETT, 1999; HEALD, 1969; SELL, 1977; SNEDAKER; BROWN, 1981) apresentam valores próximos ao da franja de Guaratiba em grande parte dos dados.

Manguezais da África do sul (28° 00'S - 30° 00'S) apresentam produção de serapilheira com faixa de variação semelhante à Guaratiba (STEINKE; CHARLES, 1986; STEINKE; WARD, 1988) (**Tabela 6**), com produção variando de 7,1 t.ha⁻¹.ano⁻¹ no Estuário Mgeni a 11,4 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em Richards Bay. Entretanto, manguezais de latitude acima de 30° 00'S, como em Roseville NSW, Baía Jervis, Merimbula e Baía Westernport na Austrália (BUNT, 1995; CLARKE, 1994; CLOUGH; ATTIWILL, 1975, 1982; GOULTER; ALLAWAY, 1979) e Auckland na Nova Zelândia (WOODROFFE, 1982) apresentam produções extremamente baixas, variando de 1,62 t.ha⁻¹.ano⁻¹ a 8,1 t.ha⁻¹.ano⁻¹, quando comparados ao manguezal de Guaratiba.

A comparação entre os valores encontrados por esse estudo e outros estudos de latitudes próximas no hemisfério sul, entre 16°00'S e 28°00'S (**Tabela 6**), mostrou que as florestas de mangue de Guaratiba apresentaram produção de serapilheira dentro da faixa de variação encontrada em outros estudos e com valores elevados (ADAIME, 1985; BERNINI et al., 2014; BERNINI; REZENDE, 2010; BOTO; BUNT, 1981; BUNT, 1995; CHAVES, 2007; DUKE; BUNT; WILLIAMS, 1981; LAMPARELLI, 1995; LARCHER et al., 2014; LEE, 1989; LI, 1993; LIN et al., 1985; PONTE et al., 1984; SAIFULLAH; KHAFAJI; MANDURA, 1989; SESSEGOLO, 1997; YIN; LIN, 1992). Essa elevada produção, principalmente nas florestas de franja, indica a importância das florestas de mangue de Guaratiba para o próprio ecossistema e para os ecossistemas costeiros adjacentes em termos de disponibilização de matéria orgânica, que serve de base para diversas cadeias tróficas.

Tabela 6 – Dados referentes à produção de serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) em diferentes manguezais do mundo e no presente estudo (grifado em negrito).

Latitude	Localização	Tipo Fisiográfico	Produção total de Serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	Referência
0° 50´ S	Bragança (PA, Brasil)	Franja	9,85	Fernandes <i>et al.</i> (2007)
0° 50´ S	Bragança (PA, Brasil)	Franja	6,41	Fernandes <i>et al.</i> (2007)
0° 50´ S	Bragança (PA, Brasil)	Franja	5,99	Fernandes <i>et al.</i> (2007)
0° 00´	Furo do Meio (PA, Brasil)	Franja	13,1	Mehlig (2001)
0° 00´	Acarajó (PA, Brasil)	Bacia	12,8	Mehlig (2001)
2° 05´ S	Equador	Ribeirinho	10,55	Twilley <i>et al.</i> (1997)
2° 05´ S	Equador	Ribeirinho	8,83	Twilley <i>et al.</i> (1997)
2° 05´ S	Equador	Ribeirinho	6,39	Twilley <i>et al.</i> (1997)
2° 00´ S	Ilha de Maracá (AP, Brasil)	-	11,7	Mehlig (2001)
2° 00´ S	Ilha de Maracá (AP, Brasil)	-	16,4	Fernandes (1997)
2° 00´ S	Ilha de Maracá (AP, Brasil)	-	4,7	Fernandes (1997)
2° 00´ S	Ilha de Maracá (AP, Brasil)	-	9,9	Fernandes (1997)
2° 00´ S	Ilha de Maracá (AP, Brasil)	-	2,6	Fernandes (1997)
2° 00´ S	Ilha de Maracá (AP, Brasil)	-	7,7	Fernandes (1997)
3° 15´ N	Malásia	Franja	15,4	Sasekumar e Loi (1983)
3° 15´ N	Malásia	Bacia	14,02	Sasekumar e Loi (1983)
3° 15´ N	Malásia	Transição	15,77	Sasekumar e Loi (1983)
3° 00´ N	Colômbia	-	14,09	Hernandez e Mullen (1979)
4° 15´ N	Guiana Francesa	-	8,69	Betoulle <i>et al.</i> (2001)
4° 15´ N	Guiana Francesa	-	12,59	Betoulle <i>et al.</i> (2001)
4° 50´ N	Malásia	-	9,86	Gong <i>et al.</i> (1984)
5° 00´ N	Sul da Nigéria	-	6,41	Abbey-Kallio (1992)
5° 00´ N	Matang (Malásia)	-	9,71	Ong <i>et al.</i> (1984)
5° 00´ N	Malásia	-	19,88	Ong <i>et al.</i> (1980)
5° 00´ N	Matang (Malásia)	-	23,4	Ong <i>et al.</i> (1982)
5° 00´ N	Matang (Malásia)	-	8,8	Ong <i>et al.</i> (1984)
6° 10´ S	Tanzânia	-	14,02	Shunula e Whittick (1999)
6° 00´ N	Guiana	-	17,71	Chale (1996)
7° 28´ S	Tuvalu (Pacífico Sul)	-	7,77	Woodroffe e Moss (1984)
7° 00´ N	Merbok (Malásia)	-	10,07	Ong <i>et al.</i> (1981)
7° 00´ S	Indonésia	-	8,5	Brotonegoro e Abdulkadir (1979)
7° 00´ S	Tritih (Indonésia)	Ribeirinho	7,06	Sukardjo e Yamada (1992)
7° 00´ S	Muara Angkekapuk (Indonésia)	-	4,94	Sukardjo (1989)
7° 00´ S	Tiris Indramayu (Indonésia)	-	12,9	Sukardjo (1988)
8° 00´ S	Tamandaré (PE, Brasil)	Ribeirinho	12,28	Longo (2009)
8° 00´ S	Tamandaré (PE, Brasil)	Franja	11,85	Longo (2009)
8° 03´ N	Tailândia	Franja	9,86	Christensen (1978)

Tabela 6 – Continuação.

Latitude	Localização	Tipo Fisiográfico	Produção total de Serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
8° 15' N	Kala Oya (Sri Lanka)	Ribeirinho	6,23	Amarasinghe e Balasubramaniam (1992)
8° 15' N	Kala Oya (Sri Lanka)	Ribeirinho	5,52	Amarasinghe e Balasubramaniam (1992)
8° 15' N	Erumathivu (Sri Lanka)	Franja	4,41	Amarasinghe e Balasubramaniam (1992)
8° 15' N	Erumathivu (Sri Lanka)	Franja	3,74	Amarasinghe e Balasubramaniam (1992)
8° 50' N	Vietnam	-	10,95	Clough <i>et al.</i> (2000)
8° 50' N	Vietnam	-	9,41	Clough <i>et al.</i> (2000)
8° 50' N	Vietnam	-	12,25	Clough <i>et al.</i> (2000)
8° 50' N	Vietnam	-	18,79	Clough <i>et al.</i> (2000)
8° 50' N	Vietnam	-	12,13	Clough <i>et al.</i> (2000)
8° 50' N	Vietnam	-	17,37	Clough <i>et al.</i> (2000)
8° 50' N	Vietnam	-	14,02	Nga <i>et al.</i> (2005)
8° 00' N	Phuket (Tailândia)	-	3,44	Poovachinaranon e Chansang (1982)
9° 31' S	Papua Nova Guiné	-	14,3	Leach e Burgin (1985)
10° 00' S	Pacatuba (SE, Brasil)	Franja	10,88	Menezes (2010)
10° 00' S	Pacatuba (SE, Brasil)	Bacia	10,06	Menezes (2010)
10° 00' S	Pacatuba (SE, Brasil)	Bacia	14,48	Menezes (2010)
10° 00' S	Pacatuba (SE, Brasil)	Transição	11,24	Menezes (2010)
10° 00' S	Rio São Francisco (SE, Brasil)	-	13,37	Santos <i>et al.</i> (2019)
21° 00' S	Rio Paraíba do Sul (RJ, Brasil)	-	13,1	Bernini e Rezende (2010)
21° 00' S	Rio Itabapoana (RJ/ES, Brasil)	Ribeirinho	8,7	Bernini <i>et al.</i> (2014)
11° 00' S	Rio Piauí (SE, Brasil)	-	8,7	Landim e Maia (1998)
11° 00' S	Rio Piauí (SE, Brasil)	-	4,1	Landim e Maia (1998)
11° 00' S	Rio Piauí (SE, Brasil)	-	6,3	Landim e Maia (1998)
12° 00' N	Ranong (Tailândia)	-	8,88	Aksorkoae <i>et al.</i> (1987)
12° 00' N	Chantaburi (Tailândia)	-	9,31	Aksorkoae e Khemnark (1984)
12° 00' S	Maningrida (Austrália)	-	5,9	Bunt (1995)
12° 00' S	Weipa (Austrália)	-	4,3	Bunt (1995)
12° 00' S	Darwin Harbor (Austrália)	Bacia	6,86	Woodroffe <i>et al.</i> (1988)
12° 00' S	Darwin Harbor (Austrália)	Bacia	3	Woodroffe <i>et al.</i> (1988)
12° 00' S	Darwin Harbor (Austrália)	Franja	11,58	Woodroffe <i>et al.</i> (1988)
12° 00' S	Darwin Harbor (Austrália)	Franja	3,62	Woodroffe <i>et al.</i> (1988)
12° 00' S	Darwin Harbor (Austrália)	Franja	12,5	Woodroffe <i>et al.</i> (1988)
12° 00' S	Darwin Harbor (Austrália)	Franja	9,99	Woodroffe <i>et al.</i> (1988)
14° 00' N	Baie de Fort de France (Martinica)	Bacia	4,83	Imbert e Ménard (1997)
14° 00' N	Baie de Fort de France (Martinica)	Franja	8,15	Imbert e Ménard (1997)
14° 00' N	Baie de Fort de France (Martinica)	Franja	14,99	Imbert e Ménard (1997)

Tabela 6 – Continuação.

Latitude	Localização	Tipo Fisiográfico	Produção total de Serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
14 ° 00 ´ N	Baie de Fort de France (Martinica)	Bacia	8,57	Imbert e Ménard (1997)
14 ° 00 ´ N	Baie de Fort de France (Martinica)	Franja	18,97	Imbert e Ménard (1997)
15 ° 00 ´ N	Sundarbans (India)	-	16,03	Ghosh <i>et al.</i> (1990)
15 ° 00 ´ S	Wyndham (Austrália)	-	9,9	Bunt (1995)
15 ° 00 ´ S	Cooktown (Austrália)	-	10,5	Bunt (1995)
16 ° 00 ´ N	Grand Cul-de-Sac Marin (Guadalupe)	-	8,7	Imbert e Portecop (1986)
16 ° 00 ´ S	Rio Daintree (Austrália)	-	7,5	Bunt (1995)
16 ° 00 ´ S	Ilha Mornington (Austrália)	-	8,6	Bunt (1995)
17 ° 00 ´ N	México	-	6,14	Lopez-Portillo e Ezcurra (1985)
17 ° 00 ´ N	México	-	8,34	Lopez-Portillo e Ezcurra (1985)
17 ° 00 ´ N	México	-	12,52	Lopez-Portillo e Ezcurra (1985)
17 ° 00 ´ S	Trinity Inlet (Austrália)	-	6,8	Bunt (1995)
18 ° 04 ´ N	Boca Chica (México)	Ribeirinho	12,06	Day <i>et al.</i> (1987)
18 ° 04 ´ N	Estero Pargo (México)	Franja	7,72	Day <i>et al.</i> (1987)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	10,88	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	9,31	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	7,19	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	7,92	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	8,01	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	9,96	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	7,99	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	7,88	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	8,69	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 15 ´ S	Austrália	-	10,91	Duke <i>et al.</i> (1981)
18 ° 19 ´ S	Austrália	Bacia	8,76	Boto e Bunt (1981)
18 ° 40 ´ N	Laguna de Términos (México)	Franja	7,93	Day <i>et al.</i> (1996)
18 ° 40 ´ N	Laguna de Términos (México)	Bacia	4,96	Day <i>et al.</i> (1996)
18 ° 40 ´ N	Laguna de Términos (México)	Anão	3,07	Day <i>et al.</i> (1996)
18 ° 40 ´ N	Laguna de Términos (México)	Bacia	4,1	Day <i>et al.</i> (1996)
18 ° 00 ´ N	Ceiba (Porto Rico)	Franja	6,64	Pool <i>et al.</i> (1975)
18 ° 00 ´ N	Piñones (Porto Rico)	Bacia	9,7	Pool <i>et al.</i> (1975)
18 ° 00 ´ N	Porto Rico	-	15,4	Negron e Cintron (1981)
18 ° 00 ´ N	Porto Rico	-	19,16	Levine (1981)
18 ° 00 ´ N	Porto Rico	-	17,3	Negron e Cintron (1981)
18 ° 00 ´ N	Porto Rico	-	8,36	Negron e Cintron (1981)
18 ° 00 ´ N	Vacia Talega (Porto Rico)	Ribeirinho	14,45	Pool <i>et al.</i> (1975)
18 ° 00 ´ N	Campeche (Mexico)	Franja	6,6	Barreiro-Gümes (1999)
18 ° 00 ´ N	Campeche (Mexico)	Franja	10,5	Barreiro-Gümes (1999)

Tabela 6 – Continuação.

Latitude	Localização	Tipo Fisiográfico	Produção total de Serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
18° 00´ N	Campeche (Mexico)	Ribeirinho	11,2	Barreiro-Gümes (1999)
18° 00´ N	Campeche (Mexico)	Ribeirinho	16,5	Barreiro-Gümes (1999)
19° 00´ N	Índia	-	11,7	Wafar <i>et al.</i> (1997)
19° 00´ N	Índia	-	11,8	Wafar <i>et al.</i> (1997)
19° 00´ N	Índia	-	17	Wafar <i>et al.</i> (1997)
19° 00´ N	Índia	-	10,2	Wafar <i>et al.</i> (1997)
19° 00´ N	Veracruz (México)	-	9,1	Rico-Gray e Lot (1983)
20° 00´ N	Ilha Hainam (China)	Franja	11,04	Lin <i>et al.</i> (1990)
20° 00´ N	Ilha Hainam (China)	Ribeirinho	12,55	Lin <i>et al.</i> (1990)
20° 00´ N	Porto Hedland (Austrália)	-	8,8	Bunt (1995)
20° 00´ N	Dampier (Austrália)	-	11,7	Bunt (1995)
22° 31´ N	Futian (China)	-	10,99	Tam <i>et al.</i> (1998)
22° 31´ N	Futian (China)	-	12,75	Tam <i>et al.</i> (1998)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Franja	13,87	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	13,43	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Franja	14,32	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	10,78	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	9,17	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Franja	17,91	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Franja	14,99	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	16,45	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	17,39	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Franja	16,01	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Franja	11,98	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	14,64	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	9,43	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	13,53	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Franja	22,85	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Franja	9,83	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	8,91	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	15,61	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	13,6	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Ribeirinho	2,56	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Ribeirinho	9,71	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	14,44	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Bacia	10,01	Chaves (2007)
22° 00´ S	Baía de Guanabara (RJ, Brasil)	Ribeirinho	11,55	Chaves (2007)
22° 00´ S	Red Sea (Arabia)	-	7,8	Saifullah <i>et al.</i> (1989)

Tabela 6 – Continuação.

Latitude	Localização	Tipo Fisiográfico	Produção total de Serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
22 ° 00 ´ S	Fujian (China)	-	8,52	Lin et al. (1985)
22 ° 00 ´ S	Futian (China)	-	7,6	Li (1993)
22 ° 00 ´ S	Yingluo Guangxi (China)	-	8,24	Yin e Lin (1992)
22 ° 00 ´ S	Yingluo Guangxi (China)	-	6,32	Lin <i>et al.</i> (1992)
22 ° 00 ´ S	Dongzhai Hainam (China)	-	13,1	Lin <i>et al.</i> (1990)
22 ° 00 ´ S	Fujian (China)	-	9,21	Lu <i>et al.</i> (1988)
22 ° 00 ´ S	Hong Kong	Bacia	11,07	Lee (1989)
22 ° 00 ´ S	Hong Kong	Bacia	12,47	Lee (1990)
23 ° 00 ´ S	Baía de Sepetiba (RJ, Brasil)	Franja	8,44	Machado (2014)
23 ° 00 ´ S	Baía de Sepetiba (RJ, Brasil)	Bacia	11,06	Machado (2014)
23 ° 00 ´ S	Baía de Sepetiba (RJ, Brasil)	Transição	13,14	Machado (2014)
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Franja	11,02	Machado (2014)
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Bacia	8,49	Machado (2014)
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Transição	6,28	Machado (2014)
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Franja	11,83	Presente estudo*
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Franja	12,90	Presente estudo**
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Franja	11,26	Presente estudo*
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Bacia	8,03	Presente estudo*
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Bacia	7,54	Presente estudo**
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Bacia	9,76	Presente estudo*
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Transição	9,23	Presente estudo*
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Transição	7,85	Presente estudo**
23 ° 00 ´ S	Guaratiba (RJ, Brasil)	Transição	6,74	Presente estudo*
23 ° 00 ´ S	Itacuruçá (RJ, Brasil)	-	9,6	Silva (1988)
23 ° 00 ´ S	Bertioga (SP, Brasil)	-	5,56	Lamparelli (1995)
23 ° 00 ´ S	Bertioga (SP, Brasil)	-	4,65	Lamparelli (1995)
23 ° 00 ´ S	Bertioga (SP, Brasil)	Franja	4,57	Ponte <i>et al.</i> (1984)
23 ° 00 ´ S	Bertioga (SP, Brasil)	Bacia	5,08	Ponte <i>et al.</i> (1984)
23 ° 00 ´ S	Bermuda		9,4	Ellison (1997)
23 ° 35 ´ N	El Verde Lagoon (México)	Franja	10,95	Flores-Verdugo <i>et al.</i> (1987)
24 ° 00 ´ S	Callipe (Austrália)	-	6,9	Bunt (1995)
24 ° 00 ´ S	Rio Callipe (Austrália)	-	5,7	Bunt (1995)
25 ° 62 ´ N	Fort Myers (Flórida (EUA))	Bacia	3,51	Twilley <i>et al.</i> (1986)
25 ° 62 ´ N	Rookery Bay (Flórida (EUA))	Bacia	5,38	Twilley <i>et al.</i> (1986)
25 ° 62 ´ N	Rookery Bay (Flórida (EUA))	Bacia	4,69	Twilley <i>et al.</i> (1986)
25 ° 62 ´ N	Fort Myers (Flórida (EUA))	Bacia	8,68	Twilley <i>et al.</i> (1986)
25 ° 00 ´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	4,89	Adaime (1985)
25 ° 00 ´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	4,58	Adaime (1985)

Tabela 6 – Continuação.

Latitude	Localização	Tipo Fisiográfico	Produção total de Serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
25° 00´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	5,94	Adaime (1985)
25° 00´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	6,75	Adaime (1985)
25° 00´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	10,42	Adaime (1985)
25° 00´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	6,5	Adaime (1985)
25° 00´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	8,4	Adaime (1985)
25° 00´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	9,02	Menezes (1994)
25° 00´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	6,46	Menezes (1994)
25° 00´ S	Cananéia (SP, Brasil)	-	7,7	Menezes (1994)
25° 00´ S	Baía de Antonina (PR, Brasil)	Ribeirinho	4,1	Larcher <i>et al.</i> (2014)
25° 00´ S	Baía de Guaratuba (PR, Brasil)	Ribeirinho	2,1	Larcher <i>et al.</i> (2014)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Franja	3,5	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Franja	6,4	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Franja	5,2	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Franja / Bacia	4,7	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Bacia	3,6	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Bacia	3,2	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Bacia	5,1	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Franja	4,4	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Franja / Bacia	5,1	Sessegolo (1997)
25° 00´ S	Baía de Paranaguá (PR, Brasil)	Bacia	5,5	Sessegolo (1997)
26° 02´ N	Flórida (EUA)	-	8,03	Lugo e Snedaker (1974)
26° 02´ N	Flórida (EUA)	-	4,44	Lugo e Snedaker (1974)
26° 62´ N	Rookery Bay (Flórida, EUA)	Bacia	7,51	Twilley <i>et al.</i> (1986)
26° 00´ N	Baía Rookery (Flórida, EUA)	Bacia	7,41	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Ilhas Ten Thousand (Flórida, EUA)	Ribeirinho	12,74	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Ilhas Ten Thousand (Flórida, EUA)	Ribeirinho	10,73	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Ilhas Ten Thousand (Flórida, EUA)	Franja	10	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Ilhas Ten Thousand (Flórida, EUA)	Franja	9,67	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Turkey Point (Flórida, EUA)	Franja	7,77	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Turkey Point (Flórida, EUA)	Franja	6,28	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Turkey Point (Flórida, EUA)	Anão	1,2	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Turkey Point (Flórida, EUA)	Anão	0,84	Pool <i>et al.</i> (1975)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	7,51	Twilley (1982)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	5,38	Twilley (1982)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	2,9	Teas (1976)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	2,81	Teas (1976)

Tabela 6 – Continuação.

Latitude	Localização	Tipo Fisiográfico	Produção total de Serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	1,28	Teas (1976)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	4,2	Teas (1976)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	10,7	Teas (1976)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	1,68	Snedaker e Brown (1981)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	7,5	Snedaker e Brown (1981)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	10,24	Snedaker e Brown (1981)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	9,81	Snedaker e Brown (1981)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	10,82	Snedaker e Brown (1981)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	10,66	Snedaker e Brown (1981)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	11,73	Snedaker e Brown (1981)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	6,5	Lugo e Snedaker (1973)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	4,9	Lugo e Snedaker (1973)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	6,5	Lugo e Snedaker (1973)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	5,79	Heald <i>et al.</i> (1979)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	8,76	Heald (1969)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	11,75	Sell (1977)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	11,83	Sell (1977)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	14,43	Sell (1977)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	9,09	Sell (1977)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	-	3,26	Lugo <i>et al.</i> (1980)
26° 00´ N	Flórida (EUA)	Franja	8,68	Lugo <i>et al.</i> (1980)
27° 24´ S	Rio Brisbane (Austrália)	Franja	8,76	Mackey e Smail (1995)
27° 41´ N	Flórida (EUA)	Ribeirinho	10,95	Pool <i>et al.</i> (1975)
27° 41´ N	Tampa Bay (Flórida, EUA)	Franja	11,32	Dawes <i>et al.</i> (1999)
27° 41´ N	Tampa Bay (Flórida, EUA)	Interior	11,32	Dawes <i>et al.</i> (1999)
27° 49´ N	México	-	1,75	Arreola-Lizárraga <i>et al.</i> (2004)
27° 00´ N	Flórida (EUA)	-	13,5	Parkinson <i>et al.</i> (1999)
27° 00´ S	Ilha Stradbroke Norte (Austrália)	-	3,1	Bunt (1995)
28° 00´ S	Ilha de Santa Catarina	-	8,65	Panitz (1986)
28° 00´ S	St. Lucia (África do Sul)	-	10,1	Steinke e Ward (1988)
28° 00´ S	St. Lucia (África do Sul)	-	7,3	Steinke e Ward (1988)
29° 00´ S	Richards Bay (África do Sul)	-	10,6	Steinke e Ward (1988)
29° 00´ S	Richards Bay (África do Sul)	-	8	Steinke e Ward (1988)
29° 00´ S	Richards Bay (África do Sul)	-	11,4	Steinke e Ward (1988)
30° 23´ N	Rookery Bay (Flórida)	Bacia	7,67	Mckee e Faulkner (2000)
30° 23´ N	Naples (Flórida)	Bacia	6,21	Mckee e Faulkner (2000)
30° 00´ S	Estuário Mgeni (África do Sul)	-	8,2	Steinke e Charles (1986)
30° 00´ S	Estuário Mgeni (África do Sul)	-	7,1	Steinke e Charles (1986)

Tabela 6 – Continuação.

Latitude	Localização	Tipo Fisiográfico	Produção total de Serapilheira (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Referência
33 ° 46 ´ S	Roseville NSW (Austrália)	-	5,8	Goulter e Allaway (1979)
35 ° 07 ´ S	Baía Jervis (Australia)	-	3,1	Clarke (1994)
35 ° 07 ´ S	Baía Jervis (Australia)	-	2,7	Clarke (1994)
36 ° 48 ´ S	Auckland (Nova Zelândia)	Bacia	8,1	Woodroffe (1982)
36 ° 48 ´ S	Auckland (Nova Zelândia)	Bacia	3,65	Woodroffe (1982)
36 ° 48 ´ S	Auckland (Nova Zelândia)	Bacia	7,7	Woodroffe (1985)
36 ° 48 ´ S	Auckland (Nova Zelândia)	Bacia	3,3	Woodroffe (1985)
37 ° 00 ´ S	Merimbula (Austrália)	-	4,4	Bunt (1995)
38 ° 00 ´ S	Baía Westernport (Vic., Austrália)	-	2	Clough e Attiwill (1975)
38 ° 00 ´ S	Baía Westernport (Vic., Austrália)	-	1,62	Clough e Attiwill (1982)

*Médias calculadas com dados anuais de 2011 a 2019

**Médias calculadas com dados anuais de 2009 a 2019

De acordo com Almeida *et. al* (2014), os manguezais da região de Guaratiba apresentam área de aproximadamente 304 ha de florestas de franja, 1.060 ha de florestas de bacia e 517 ha de florestas de transição totalizando 1.881 ha ocupados por florestas de mangue. Utilizando as informações apresentadas por Almeida *et. al* (2014) para os manguezais de Guaratiba e as taxas de produção de serapilheira apresentadas no presente estudo (**Tabela 3**, **Tabela 4** e **Tabela 5**) foi estimado o valor médio de serapilheira produzida anualmente para os manguezais da região de Guaratiba, conforme apresentado na **Tabela 7**.

Tabela 7 – Valores médios de serapilheira produziada anualmente para os manguezais da região de Guaratiba – RJ a partir das informações apresentadas por Almeida *et. al* (2014).

Tipo fisiográfico	Taxa produção média anual (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Área (ha)	Produção média total do manguezal de Guaratiba (t.ano ⁻¹)
Franja	12,15	304	3.693,60
Bacia	8,31	1060	8.808,60
Transição	8,08	517	4.136,96
TOTAL			16.639,16

O manguezal de Guaratiba produz aproximadamente 3.693,60 t.ano⁻¹ de serapilheira nas florestas de franja, 8.808,60 t.ano⁻¹ nas florestas de bacia e 4.136,96 t.ano⁻¹ nas florestas de transição, totalizando 16.639,16 toneladas por ano de serapilheira que pode ser acumulada

no sedimento, remineralizada pela decomposição e/ou exportada para áreas vizinhas (POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975). A análise dos dados apresentados demonstra que para o balanço global de serapilheira no manguezal de Guaratiba, as diferentes taxas de produção observadas nos tipos fisiográficos são compensadas pela área ocupada por cada uma dessas florestas, o que faz com que regionalmente os manguezais de bacia e transição possuam maior contribuição para a produção total de serapilheira, que os manguezais de franja.

Quantificar a serapilheira produzida pelo ecossistema manguezal permite avaliar a produção líquida das árvores de mangue, que de acordo com Robertson *et al.* (1992) pode representar até um terço da produção primária do manguezal. Odum e Heald (1975a) destacaram, em seu clássico estudo, os manguezais como ecossistemas altamente produtivos, por contribuírem significativamente para a fertilidade das águas costeiras adjacentes devido à produção de grande quantidade de matéria orgânica, transformando material foliar em partículas de detrito que podem se tornar alimento por um grande grupo de organismos consumidores.

As taxas de exportação de materiais provenientes da serapilheira depende da geomorfologia e amplitude das marés, maior em florestas situadas em áreas costeiras dominadas por marés ou sob forte influência fluvial (LEE, 1995; TWILLEY; DAY, 1999; TWILLEY *et al.*, 1997; WOODROFFE, 1982). De acordo com Carpanezzi (1980) a deposição de material orgânico é considerada como o mais importante meio de transferência de nutrientes da vegetação ao solo.

De acordo com Twilley (1995), Ayukai *et al* (1998) e Dittmat e Lara (2001), nos manguezais há predomínio de carbono orgânico sob forma dissolvida. Entretanto, Hamacher (2001) demonstrou que no sistema Guaratiba-Sepetiba as concentrações das formas dissolvida e particulada do carbono orgânico são semelhantes, existindo diferenças significativas de suas concentrações nas marés enchente e vazante, onde os maiores valores estão associados a períodos de vazante.

Segundo Twilley (1995), a maior parte do carbono orgânico associado à produção de serapilheira nos manguezais de bacia é acumulado no sedimento ou sofre decomposição na própria floresta. Já a maior parte da serapilheira produzida pelas florestas de franja é exportada, devido à alta frequência de lavagem pelas marés. Para Guaratiba, Hamacher (2001) descreve uma alta concentração de carbono orgânico dissolvido sendo exportado do sistema após períodos de marés mais altas, o que pode representar a importância da contribuição da matéria orgânica em decomposição nas florestas de bacia e de transição, a qual é remobilizada nas marés de sizígia. Ainda segundo Hamacher (2001), as concentrações nos canais da região

variam de 0,71 a 28,13 mg.L⁻¹ para o carbono orgânico dissolvido e 0,12 a 8,80 mg.L⁻¹ para o carbono orgânico particulado.

Com base nessas informações podemos inferir a importância da produção de serapilheira nas florestas de mangue de Guaratiba e como a mesma se conecta com o sistema estuarino e marinho. As florestas de franja, apesar de contribuírem com menor produção total de serapilheira, possuem maior parte dessa matéria orgânica exportada para o sistema sob a forma particulada, tendo em vista a maior frequência de lavagem pelas marés. Por outro lado, as florestas de bacia e de transição, que representam a maior produção total de serapilheira dos manguezais de Guaratiba, contribuem com a exportação de matéria orgânica sob a forma dissolvida, como consequência da menor frequência de inundação pelas marés, que permite que parte da serapilheira produzida entre em processo de decomposição antes da floresta ser atingida pelas marés mais altas de sizígia.

Os manguezais representam um sistema aberto de fluxo de energia, com grande importância nas zonas costeiras pela alta produtividade e exportação de material orgânico (LUGO; SNEDAKER, 1974; ODUM; HEALD, 1975a). O material orgânico depositado oriundo da serapilheira sustenta grande variedade de nichos para a fauna e microrganismos, sendo também fonte para a matéria orgânica coloidal dos solos. De acordo com o Odum e Heald (1975b, 1975a), os detritos produzidos a partir da serapilheira são colonizados por diversos organismos base de cadeia alimentar (protozoários, bactérias e fungos) que servem de alimento para crustáceos e peixes jovens. Diversas espécies de peixes, moluscos e crustáceos constituem importante elo entre a cadeia alimentar estuarino-costeira, transformando partículas orgânicas ingeridas em proteína animal para aves e peixes maiores. Outras aves se alimentam diretamente nos bancos de lama dos lavados e apicuns, ingerindo pequenos crustáceos e outros invertebrados de menor porte.

4.1.1.2 Salinidade da água intersticial

A salinidade da água intersticial do manguezal de Guaratiba apresentou variação espacial, com média histórica de $31,3 \pm 3,0$ na franja, $36,9 \pm 3,7$ na bacia e $42,3 \pm 5,5$ na transição (**Tabela 8**). Ao analisarmos os tipos fisiográficos com mais detalhe, percebemos que os valores da salinidade nas estações da franja são mais baixos e os mais elevados estão nas estações de transição. Notamos que as estações posicionadas em florestas de franja

apresentam salinidade média variando de 27,3 a 36,9; as estações situadas na bacia apresentam salinidade média variando de 30,8 a 42,1, já as estações localizadas na transição apresentaram salinidade média variando de 33,1 a 51,3. Com essas informações pode-se afirmar que o manguezal de Guaratiba apresenta o seguinte ordenamento de salinidade da água intersticial durante os 11 anos analisados: **Franja < Bacia < Transição.**

Hutchings e Saenger (1987) mostram que diferentes espécies de mangue têm diferentes distribuições ao longo do gradiente de salinidade. De acordo com Soares *et al.* (2017), em Guaratiba as espécies de mangue têm distribuições diferentes ao longo do gradiente de salinidade. *A. schaueriana* e *L. racemosa* são encontradas em amplas faixas de salinidade do solo, enquanto *R. mangle* é restrito a níveis mais baixos de salinidade.

No presente estudo a salinidade intersticial aumenta com o aumento da distância do rio, como relatado anteriormente para Guaratiba por Soares *et al.* (2017) e difere do padrão relatado por Joshi e Ghose (2003), podendo ser explicado pela maior frequência e duração da inundação das marés nas áreas de franja. De acordo com Soares *et al.* (2017) a baixa frequência e duração da inundação das marés na região de Guaratiba, são provavelmente os fatores que ditam a alta salinidade observada nas áreas mais elevadas e internas da zona entremarés.

De acordo com Estrada *et al.* (2013), Soares *et al.* (2017) há diminuição progressiva do desenvolvimento estrutural da floresta de mangue em direção à zona de transição entre a floresta e as planícies hipersalinas nos manguezais de Guaratiba. Tal condição influencia diretamente a produção de serapilheira, visto que a produtividade é espacialmente variável dentro de uma floresta e pode variar com a altura das árvores (GLADSTONE-GALLAGHER; LUNDQUIST; PILDITCH, 2014; MORRISEY *et al.*, 2010).

Uma análise comparativa da produção de serapilheira com o gradiente de inundação pelas marés e a fitossociologia nos manguezais de Guaratiba é apresentada nos itens **4.1.2 Produção de serapilheira relacionada ao gradiente de inundação pelas marés.**

Tabela 8 – Salinidade média (\pm desvio padrão) da água intersticial do manguezal de Guaratiba - RJ ao longo das estações de monitoramento e por tipo fisiográfico entre os anos de 2009 e 2019.

Tipo fisiográfico	Estação	Salinidade intersticial média anual											Média histórica
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Franja	3	27,6 \pm 5,2	27,3 \pm 3,1	30,5 \pm 3,6	32,6 \pm 2,8	29,3 \pm 3,6	31,8 \pm 3,1	35,3 \pm 1,5	36,9 \pm 4,4	32,9 \pm 2,8	29,0 \pm 3,6	31,7 \pm 5,8	31,3 \pm 3,0
	Média	27,6 \pm 5,2	27,3 \pm 3,1	30,5 \pm 3,6	32,6 \pm 2,8	29,3 \pm 3,6	31,8 \pm 3,1	35,3 \pm 1,5	36,9 \pm 4,4	32,9 \pm 2,8	29,0 \pm 3,6	31,7 \pm 5,8	
Bacia	5	33,9 \pm 4,4	29,3 \pm 1,9	36,1 \pm 5,5	33,8 \pm 6,6	36,8 \pm 5,1	35,7 \pm 3,3	39,9 \pm 4,2	36,6 \pm 4,9	39,3 \pm 6,1	28,5 \pm 3,4	38,7 \pm 1,5	36,9 \pm 3,7
	6	39,0 \pm 8,8	33,0 \pm 4,6	37,8 \pm 4,6	37,0 \pm 4,6	37,7 \pm 6,8	41,6 \pm 4,4	45,6 \pm 6,3	45,8 \pm 8,2	46,5 \pm 3,5	39,9 \pm 7,7	45,0 \pm 3,0	
	7	35,4 \pm 4,4	30,1 \pm 3,8	34,8 \pm 4,1	32,1 \pm 5,5	31,9 \pm 3,9	35,3 \pm 6,0	40,7 \pm 4,1	39,0 \pm 6,5	36,6 \pm 5,9	27,8 \pm 5,8	37,0	
	Média	36,1 \pm 2,6	30,8 \pm 1,9	36,2 \pm 1,5	34,3 \pm 2,5	35,4 \pm 3,1	37,5 \pm 3,5	42,1 \pm 3,1	40,5 \pm 4,8	40,8 \pm 5,1	32,0 \pm 6,8	40,2 \pm 4,2	
Transição	8	38,9 \pm 6,0	33,0 \pm 5,3	39,6 \pm 5,0	40,0 \pm 4,6	34,5 \pm 6,4	46,3 \pm 7,0	45,7 \pm 6,5	41,4 \pm 5,2	47,3 \pm 6,1	32,3 \pm 6,0	-	42,3 \pm 5,5
	9	36,2 \pm 6,4	36,9 \pm 3,0	38,4 \pm 5,5	36,8 \pm 7,3	40,7 \pm 6,2	43,9 \pm 8,1	53,6 \pm 7,1	49,5 \pm 9,7	47,0 \pm 13,8	41,6 \pm 9,7	55,0	
	10	42,3 \pm 5,5	29,3 \pm 5,4	38,9 \pm 6,4	37,0 \pm 5,7	41,4 \pm 6,4	43,0 \pm 6,8	46,2 \pm 5,9	43,8 \pm 9,4	48,4 \pm 4,0	46,9 \pm 7,7	47,5 \pm 3,5	
	Média	39,1 \pm 3,0	33,1 \pm 3,8	39,0 \pm 0,6	37,9 \pm 1,8	38,8 \pm 3,8	44,4 \pm 1,7	48,5 \pm 4,4	44,9 \pm 4,1	47,6 \pm 0,8	40,3 \pm 7,4	51,3 \pm 5,3	

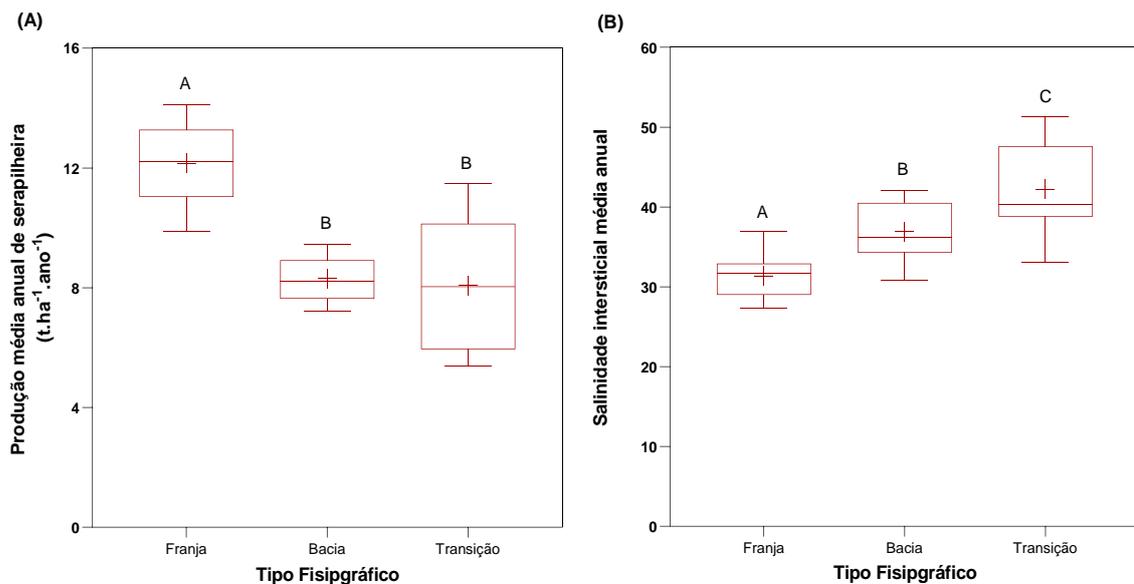
4.1.2 Produção de serapilheira relacionada ao gradiente de inundação pelas marés

Para entender as relações entre a produção de serapilheira e o gradiente de inundação pelas marés no manguezal de Guaratiba foi analisada a relação entre a produção de serapilheira e os tipos fisiográficos, salinidade da água intersticial, microtopografia e estrutura da floresta, os quais estão diretamente associados à frequência de inundação pelas marés.

4.1.2.1 Serapilheira, tipos fisiográficos e salinidade

Os valores de produção média anual de serapilheira encontrados para cada tipo fisiográfico (**Tabela 9**), juntamente com os dados de salinidade da água intersticial média anual (**Tabela 8**) do manguezal de Guaratiba entre 2009 a 2019 são comparados a seguir (**Figura 8**).

Figura 8 – Blox-pot da produção média anual de serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) (A) e salinidade da água intersticial média anual (B) entre os anos 2009 e 2019 para os tipos fisiográficos franja, bacia e transição do manguezal de Guaratiba - RJ.



Legenda: Letras diferentes indicam diferença estatística entre os tipos fisiográficos, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: O autor, 2022.

Tabela 9 – Dados da produção média anual de serapilheira (t.ha⁻¹.ano⁻¹) das florestas de franja, bacia e transição no manguezal de Guaratiba (RJ) no período de 2009 a 2019.

Tipo fisiográfico	Compartimentos		Produção média anual (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)											
	Serapilheira		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média histórica
Franja	Folhas	<i>R. mangle</i>	4,87	4,87	3,63	5,11	5,03	4,67	4,33	6,19	5,18	5,06	5,27	4,93 ± 0,60
		<i>A. schaueriana</i>	2,87	1,85	1,64	1,39	1,94	1,95	1,83	2,08	2,22	2,18	2,32	2,02 ± 0,37
		<i>L. racemosa</i>	0,33	0,53	0,16	0,11	0,13	0,10	0,17	0,07	0,00	0,01	0,00	0,15 ± 0,15
		Total	8,07	7,24	5,42	6,62	7,10	6,71	6,32	8,34	7,40	7,25	7,59	7,10 ± 0,78
		Estípulas	0,76	0,71	0,62	0,64	0,67	0,79	0,66	0,67	0,76	0,69	0,69	0,70 ± 0,05
		Flores	0,23	0,29	0,27	0,35	0,35	0,43	0,46	0,45	0,46	0,36	0,41	0,37 ± 0,08
	Propágulos	<i>R. mangle</i>	1,14	1,25	0,83	1,61	1,85	0,98	1,15	3,12	1,41	2,22	0,37	1,45 ± 0,71
		<i>A. schaueriana</i>	1,18	0,05	0,28	1,26	0,61	0,88	1,20	0,71	1,76	0,78	0,86	0,87 ± 0,45
		<i>L. racemosa</i>	0,17	0,04	0,04	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03 ± 0,05
		Total	2,49	1,34	1,15	2,90	2,47	1,86	2,37	3,83	3,17	3,00	1,23	2,35 ± 0,83
		Galhos e ramos	2,21	1,38	2,06	1,89	1,30	0,93	1,28	0,56	1,12	1,00	0,72	1,31 ± 0,51
		Miscelânea	0,25	0,69	0,36	0,35	0,28	0,33	0,24	0,22	0,37	0,18	0,23	0,32 ± 0,13
		Outras espécies	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01 ± 0,02
		Total	14,03	11,65	9,88	12,77	12,22	11,04	11,34	14,10	13,28	12,50	10,87	12,15 ± 1,28
Bacia	Folhas	<i>R. mangle</i>	2,09	2,24	2,24	3,52	3,94	2,85	2,66	3,26	2,89	2,94	3,33	2,91 ± 0,55
		<i>A. schaueriana</i>	3,46	1,68	1,41	1,55	1,85	2,15	2,20	2,38	2,93	2,82	3,80	2,38 ± 0,75
		<i>L. racemosa</i>	0,79	0,57	0,26	0,22	0,15	0,12	0,11	0,08	0,13	0,17	0,15	0,25 ± 0,21
		Total	6,33	4,49	3,92	5,28	5,95	5,11	4,97	5,72	5,96	5,92	7,28	5,54 ± 0,88
		Estípulas	0,30	0,26	0,45	0,51	0,52	0,47	0,40	0,40	0,63	0,43	0,43	0,44 ± 0,10
	Flores	0,06	0,06	0,09	0,06	0,17	0,17	0,16	0,20	0,20	0,16	0,22	0,14 ± 0,06	

Tabela 9 – Continuação.

Bacia	<i>R. mangle</i>	0,08	0,10	0,17	0,22	0,67	0,34	0,20	0,62	0,26	0,66	0,31	0,33 ± 0,21
	<i>A. schaueriana</i>	0,14	0,01	0,10	0,90	0,03	0,24	0,54	0,23	0,58	0,36	0,15	0,30 ± 0,26
	<i>L. racemosa</i>	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01 ± 0,02
	<i>Total</i>	0,27	0,11	0,27	1,14	0,70	0,57	0,75	0,85	0,84	1,08	0,46	0,64 ± 0,32
	Galhos e ramos	0,78	1,87	3,16	2,29	0,92	0,69	0,87	0,78	1,11	1,01	0,77	1,30 ± 0,76
	Miscelânea	0,24	0,84	0,31	0,18	0,33	0,19	0,13	0,18	0,17	0,12	0,13	0,26 ± 0,20
	Outras espécies	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 ± 0,00
Total	7,98	7,64	8,21	9,46	8,58	7,21	7,29	8,14	8,92	8,72	9,28	8,31 ± 0,72	
Transição	<i>R. mangle</i>	0,00	0,01	0,04	0,13	0,27	0,24	0,50	0,95	1,07	1,42	2,02	0,61 ± 0,64
	<i>A. schaueriana</i>	6,64	3,43	0,91	1,52	2,64	3,16	3,15	4,28	5,41	5,97	6,68	3,98 ± 1,89
	<i>L. racemosa</i>	0,70	0,57	0,91	1,05	1,25	0,92	0,65	0,46	0,45	0,44	0,28	0,70 ± 0,29
	<i>Total</i>	7,34	4,00	1,86	2,70	4,16	4,32	4,31	5,69	6,93	7,82	8,98	5,28 ± 2,14
	Estípulas	0,00	0,00	0,03	0,03	0,06	0,05	0,07	0,13	0,16	0,16	0,19	0,08 ± 0,06
	Flores	0,02	0,05	0,14	0,07	0,11	0,18	0,18	0,23	0,23	0,26	0,28	0,16 ± 0,08
	<i>R. mangle</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,10	0,29	0,06	0,26	0,09	0,08 ± 0,10
	<i>A. schaueriana</i>	0,55	0,00	0,16	1,10	0,20	0,40	0,66	0,52	1,51	0,62	0,25	0,54 ± 0,42
	<i>L. racemosa</i>	0,03	0,01	0,02	0,18	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03 ± 0,05
	<i>Total</i>	0,57	0,01	0,18	1,29	0,25	0,47	0,76	0,81	1,59	0,90	0,34	0,65 ± 0,46
	Galhos e ramos	3,35	1,16	3,77	4,32	0,61	0,72	0,35	0,98	0,83	0,85	0,55	1,59 ± 1,39
	Miscelânea	0,19	1,54	0,21	0,15	0,21	0,20	0,16	0,20	0,23	0,16	0,17	0,31 ± 0,39
	Outras espécies	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 ± 0,00
Total	11,47	6,76	6,19	8,55	5,40	5,95	5,84	8,04	9,97	10,14	10,52	8,08 ± 2,08	

Analisando a **Figura 8A**, observa-se redução da produção de serapilheira da franja em direção ao interior da floresta. A transição foi o tipo fisiográfico que apresentou maior variabilidade na produção enquanto a bacia menor, de acordo com os desvios padrão apresentados para cada tipo fisiográfico. Uma análise interanual será apresentada no item **4.2 Variação Temporal da Produção de Serapilheira**. Em contrapartida, a salinidade da água intersticial do manguezal de Guaratiba apresenta um padrão de aumento da salinidade partindo da franja no sentido da planície hipersalina (**Figura 8B**).

Na área de estudo de Guaratiba, de acordo com o padrão de produção de serapilheira encontrado por Twilley *et al.* (1986), seria esperado que a produção fosse reduzida no sentido franja-transição, já que as condições se tornam mais rigorosas quanto maior for a distância do corpo hídrico que lava determinada área de floresta de mangue. Este padrão foi encontrado e testado a partir de análises de variância, conforme os resultados apresentados na (**Tabela 10**)

A partir do teste estatístico ANOVA One-Way, utilizando-se os dados de produção anual de serapilheira entre 2009 e 2019, foi encontrada diferença significativa da produção de serapilheira entre os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba ($F = 24,216$ e $p < 0,001$) (**Tabela 10**). Através do pós-teste Tukey foi visto que a diferença significativa da produção de serapilheira do manguezal de Guaratiba ocorre entre a franja e os demais tipos fisiográficos (**Tabela 11**). Não houve diferença significativa entre a produção de serapilheira dos tipos fisiográficos bacia e transição.

Tabela 10 – Resultados obtidos a partir da One-Way ANOVA onde foi testada a similaridade da produção anual de serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) entre 2009 a 2019 segundo os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba-RJ.

	Soma de quadrados	G.L.	Média de quadrados	F	p
Tipo fisiográfico*	115,165*	2*	57,582*	24,216*	0,000001*
Erro	71,3374227	30	2,37791409		

Legenda: *resultados significativos ($p < 0,005$)

Tabela 11 – Resultado do teste de Tukey da variável produção anual de serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) entre 2009 a 2019 segundo os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba-RJ.

	Franja	Bacia	Transição
Franja		0,000125*	0,000122*
Bacia	0,000125*		0,932744
Transição	0,000122*	0,932744	

Legenda: *resultados significativos ($p < 0,005$)

O teste de variância ANOVA One-Way com os valores de salinidade da água intersticial coletados de 2009 a 2019 nos tipos fisiográficos apresentou diferenças significativas ($F = 18,544$ e $p < 0,001$), com aumento da salinidade intersticial a partir da franja em direção ao interior da floresta (**Tabela 12**). O pós-teste Tukey demonstrou que esta diferença ocorre entre todos os tipos fisiográficos (**Tabela 13**).

Tabela 12 – Resultados obtidos a partir da One-Way ANOVA onde foi testada a similaridade da salinidade da água intersticial média anual entre 2009 a 2019 segundo os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba-RJ.

	Soma de quadrados	G.L.	Média de quadrados	F	p
Tipo fisiográfico*	654,61*	2*	327,30*	18,544*	0,000006*
Erro	529,49	30	17,65		

Legenda: *resultados significativos ($p < 0,005$)

Tabela 13 – Resultado do teste de Tukey da variável salinidade da água intersticial média anual entre 2009 a 2019 segundo os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba-RJ.

	Franja	Bacia	Transição
Franja		0,011544*	0,000123*
Bacia	0,011544*		0,014775*
Transição	0,000123*	0,014775*	

Legenda: *resultados significativos ($p < 0,005$)

Estudos relatam que a salinidade tem efeitos negativos sobre a serapilheira, condicionando baixas produções em áreas com maior salinidade (ARREOLA-LIZÁRRAGA; FLORES-VERDUGO; ORTEGA-RUBIO, 2004; DAY JR et al., 1996; MACHADO, 2014; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975). Através da análise independente das variáveis produção de serapilheira e salinidade da água intersticial (**Figura 8**) é visto que há variação segundo os tipos fisiográficos, com maiores produções de serapilheira e menor salinidade na franja, e menores produções de serapilheira e maior salinidade nas zonas de bacia e transição. Sabendo que há variação da produção de serapilheira entre os tipos fisiográficos (**Tabela 11**), os resultados de variância realizado com a salinidade da água intersticial (**Tabela 12**) nos indicam indiretamente a influência da frequência de inundações pelas marés na produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba, visto que a salinidade é utilizada como um indicador deste fator, pois ela é controlada pela mesma (SOARES et al., 2017). Entretanto os resultados do ANOVA explicam de forma indireta essas relações. Buscando entender esta associação,

análises de dependência entre a produção de serapilheira em Guaratiba (variável dependente) e dados da microtopografia local e salinidade da água intersticial (variáveis independentes) são apresentados a seguir.

4.1.2.2 Serapilheira e microtopografia

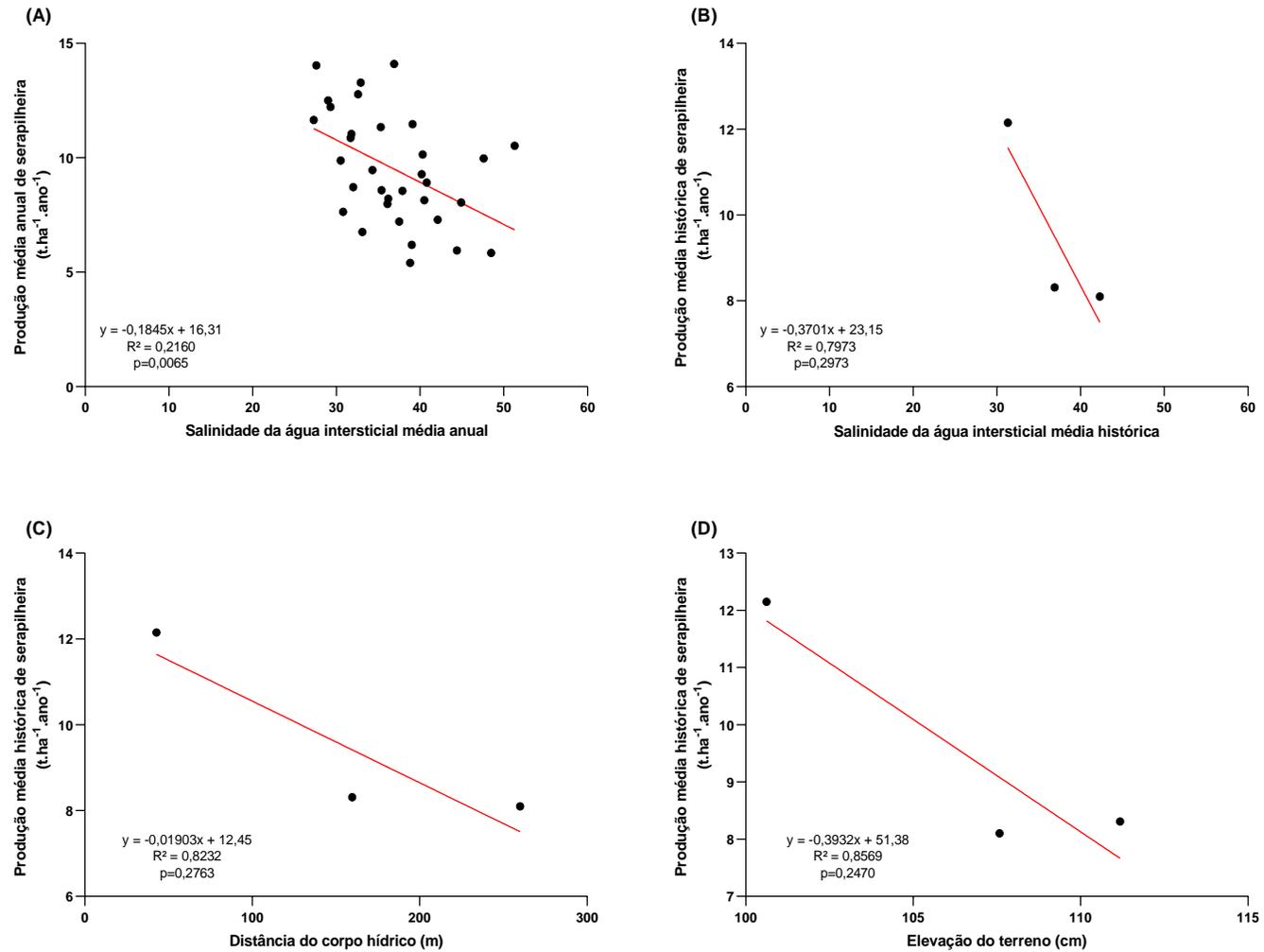
A partir dos dados de salinidade da água intersticial juntamente com dados do perfil microtopográfico apresentado por Estrada *et al.* (2013), foi possível comparar a produção de serapilheira ao gradiente de frequência de inundação pelas marés. A influência do gradiente ambiental causado pelas marés na produção de serapilheira pode ser observada através da regressão entre a produção média anual de serapilheira e a salinidade da água intersticial média anual (**Figura 9A**), produção média histórica com salinidade média histórica (**Figura 9B**) e parâmetros microtopográficos apresentados por Estrada *et al.* (2013) (**Figura 9C** e **Figura 9D**). Um resumo do perfil microtopográfico é apresentado a seguir para a floresta do Piracão (**Figura 10** e **Tabela 14**).

A análise realizada entre a produção média anual de serapilheira e salinidade intersticial média anual da água intersticial (**Figura 9A**), a correlação foi significativa ($p=0,0065$), com tendências de relação negativa entre produção de serapilheira e salinidade ($R^2 = 0,2160$), ou seja, quanto maior a salinidade, menor a produção. Esta mesma tendência também foi vista entre a produção média histórica de serapilheira e salinidade média histórica com $R^2=0,7973$ (**Figura 9B**), porém com correlação não significativa ($p=0,2973$).

As regressões entre produção média histórica e os parâmetros microtopográficos apresentaram correlação não significativa com $p=0,2763$ e $R^2=0,8232$ para distância do corpo hídrico (m) (**Figura 9C**) e com $p=0,2470$ e $R^2=0,8569$ para elevação (m) (**Figura 9D**), ambas com relação negativa com a produção de serapilheira.

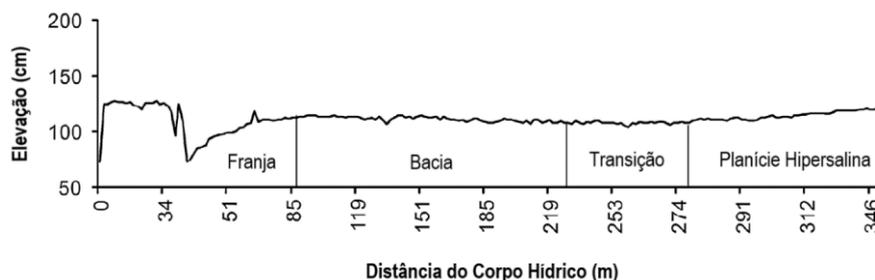
Através da análise independente das variáveis salinidade da água intersticial e produção de serapilheira é visto variação segundo os tipos fisiográficos. Sabendo que há variação da produção de serapilheira entre os tipos fisiográficos (**Tabela 11**), os resultados de variância realizado com a salinidade da água intersticial (**Tabela 12**) nos indicam indiretamente influência da frequência de inundações pelas marés na produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba visto que a salinidade é utilizada como um indicador deste fator, pois ela é controlada pela mesma (SOARES *et al.*, 2017).

Figura 9 – Regressões entre a produção total média anual de serapilheira e: salinidade média anual da água intersticial (A); média histórica da salinidade da água intersticial (B); distância do corpo hídrico (C) e; elevação do terreno (D).



Fonte: O autor, 2022.

Figura 10 – Perfil microtopográfico do manguezal de Guaratiba - RJ.



Fonte: adaptado de Estrada *et al.*, 2013.

Tabela 14 – Elevação média (cm) e distância média do corpo hídrico (m) dos tipos fisiográficos da floresta de mangue de Guaratiba – RJ calculados a partir de Estrada *et al.* (2013).

Tipo fisiográfico	Perfil microtopográfico Estrada <i>et al.</i> (2013)	
	Elevação média (cm)	Distância média do corpo hídrico (m) – Rio Piracão
Franja	100,62 ± 11,90	42,83 ± 22,90
Bacia	111,18 ± 2,38	159,65 ± 42,83
Transição	107,58 ± 1,16	260,06 ± 12,95

Como forma de analisar essas relações de forma mais robusta, as análises que testaram a dependência destas variáveis em Guaratiba, juntamente com dados da microtopografia local, mostram que além dos tipos fisiográficos e salinidade, outros fatores relacionados ao gradiente de frequência de inundação pelas marés, que não foram diretamente medidos podem influenciar a produção de serapilheira, como por exemplo características físico-químicas do substrato e disponibilidade de nutrientes.

A partir dos resultados apresentados na **Figura 9** é visto que algumas regressões não foram significativas, principalmente com a microtopografia, além do fato das médias de produção de serapilheira na bacia e transição serem similares conforme as análises de variância apresentadas na **Tabela 10**. Apesar da relação não significativa encontrada nas análises de regressão entre a produção de serapilheira e parâmetros microtopográficos, a diferença encontrada na comparação da produção de serapilheira entre a franja e bacia e transição (**Tabela 10**), aponta para a influência da frequência de inundação pelas marés sobre os níveis de produção de serapilheira. Além do mais, é de se esperar que as estações de franja, que estão cerca de $42,83 \pm 22,90$ m do rio Piracão (**Tabela 14**), sejam lavadas com maior frequência pelas marés que as estações de transição que se encontram cerca de $260,06 \pm 12,95$ m do rio (**Tabela 14**).

A análise de regressão entre a produção média anual de serapilheira e a salinidade da água intersticial média anual (**Figura 9A**), que foi realizada com um número amostral maior, indica que quanto maior a salinidade menor é a produção de serapilheira.

Esta relação, além de ser influenciada por respostas fisiológicas à crescente concentração de sais, também está diretamente relacionada à influência da salinidade da água intersticial sobre a estrutura da floresta. Conforme descrito por Soares *et al.* (2017), as florestas de Guaratiba apresentam gradiente de desenvolvimento estrutural no sentido Franja-Bacia-Transição diretamente relacionado à redução na frequência de inundação pelas marés e ao incremento da salinidade da água intersticial, desde as florestas de franja até as florestas de transição com as planícies hipersalinas.

A relação entre a produção de serapilheira e a frequência de inundação pelas marés foi relatada anteriormente na literatura. Lugo e Snedaker (1974) descreveram que o padrão de produção de serapilheira acompanharia a intensidade da frequência de inundação pelas marés e influência fluvial e teria a seguinte ordem decrescente: floresta ribeirinha > floresta de franja > floresta de bacia > floresta anã. O estudo realizado por Chaves (2007) indicou que quanto maiores os valores de salinidade da água intersticial, menor a produção de folhas e propágulos na serapilheira. Segundo Bernini e Rezende (2010), a alta produtividade da serapilheira é resultado de baixa salinidade da água intersticial, além da disponibilidade de nutrientes adequados e boas condições climáticas na região por eles estudada. Coronado-Molina *et al.* (2012) também demonstraram que a salinidade intersticial afeta os padrões espaciais da queda de serapilheira, onde a queda de serapilheira foi inversamente relacionada à salinidade intersticial. Twilley *et al.* (1986) também relataram uma relação inversa entre a produção de serapilheira e a salinidade do solo em Rookery Bay, Flórida.

De forma adicional, a produção de serapilheira varia conforme a composição de espécies da floresta, que varia entre os tipos fisiográficos, segundo a variação da salinidade da água intersticial. De acordo com Soares *et al.* (2017), em Guaratiba as espécies de mangue têm distribuições diferentes ao longo do gradiente de salinidade. *A. schaueriana* e *L. racemosa* são encontradas em amplas faixas de salinidade do solo, enquanto *R. mangle* é restrita a níveis mais baixos de salinidade.

Os manguezais estão sob a influência de diversos fatores ambientais que possuem variação de intensidade e periodicidade conforme a zonação da floresta (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Grande amplitude de maré, amplo input de água doce e precipitação são condições favoráveis ao desenvolvimento das florestas de mangue, enquanto a hipersalinidade e déficit hídrico são estressores (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 1990). No

manguezal de Guaratiba é visto influência da frequência de inundação pelas marés na produção de serapilheira, avaliado indiretamente pela salinidade da água intersticial e microtopografia. A salinidade apresenta gradiente de aumento em direção à planície hipersalina como resposta à baixa frequência de inundação pelas marés nessa região que é geralmente atingida apenas pelas marés mais altas de sizígia. As maiores produções de serapilheira ocorreram na franja, região de menor salinidade da água intersticial, menor distância do rio Piracão e conseqüentemente maior frequência de lavagem pelas marés e disponibilidade de nutrientes. A bacia e transição, que apresentaram produção de serapilheira semelhante e em valores menores quando comparados à franja, estão em zonas da floresta de maior estresse hídrico, com menor frequência de inundação pelas marés, o que acarreta em maior salinidade da água intersticial.

4.1.2.3 Serapilheira e estrutura da floresta

Nas florestas de mangue próximas ao rio Piracão na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba as estações de franja se destacam pelo elevado desenvolvimento estrutural com DAP médio variando de 11,95 cm a 12,32 cm (ESTRADA et al., 2013). Observa-se tendência de redução do desenvolvimento estrutural em direção ao interior da floresta, com a floresta de bacia com desenvolvimento intermediário e a floresta de transição com baixo desenvolvimento estrutural.

Na floresta de transição observa-se maior densidade de troncos (variando de 9.650 troncos vivos.ha⁻¹ a 11.339 troncos vivos.ha⁻¹), associados a valores mais baixos de DAP médio (variando de 3,06 cm a 4,14 cm), assim como a altura média (variando de 2,83 m a 3,96 m) e área basal (variando de 9,32 m².ha⁻¹ a 15,27 m².ha⁻¹), quando comparadas aos outros tipos fisiográficos (ESTRADA et al., 2013). Os dados estruturais para a floresta do Piracão são apresentados na **Tabela 15**.

Visto a importância das folhas para a produção de serapilheira, este compartimento foi detalhado a partir dos dados de cada transversal do manguezal de Guaratiba. Os dados são apresentados na **Tabela 16**.

Tabela 15 – Dados estruturais das florestas de mangue do rio Piracão em Guaratiba.

Tipo fisiográfico	Estação	Densidade de troncos vivos (tr vivos.ha ⁻¹)	DAP médio (cm)	Altura média (m)	Área basal (m ² .ha ⁻¹)	Contribuição em área basal (%)		
						Espécie	viva	morta
Franja	P1A	2.458	12,32	10,44	29,67	<i>A. schaueriana</i>	51,11	0,62
						<i>L. racemosa</i>	7,52	0
						<i>R. mangle</i>	40,13	0,63
	P2A	2.222	11,23	9,13	22,93	<i>A. schaueriana</i>	62,43	0
						<i>L. racemosa</i>	4,19	0
						<i>R. mangle</i>	29,30	4,08
	P3A	2.800	11,95	9,58	34,22	<i>A. schaueriana</i>	48,82	6,00
						<i>L. racemosa</i>	0	0
						<i>R. mangle</i>	42,94	2,24
Bacia	P1C	9.625	4,92	4,58	20,3	<i>A. schaueriana</i>	59,82	1,01
						<i>L. racemosa</i>	6,99	7,31
						<i>R. mangle</i>	23,27	1,59
	P2C	7.125	4,76	4,46	16,53	<i>A. schaueriana</i>	38,22	20,23
						<i>L. racemosa</i>	4,43	0
						<i>R. mangle</i>	34,17	2,95
	P3C	7.556	6,37	5,01	26,83	<i>A. schaueriana</i>	56,93	9,09
						<i>L. racemosa</i>	6,31	0,52
						<i>R. mangle</i>	26,59	0,56
Transição	P1E	10.667	3,96	3,96	15,27	<i>A. schaueriana</i>	71,37	10,85
						<i>L. racemosa</i>	13,33	3,10
						<i>R. mangle</i>	1,35	0
	P2E	9.650	4,14	3,44	14,42	<i>A. schaueriana</i>	77,90	8,10
						<i>L. racemosa</i>	12,09	1,92
						<i>R. mangle</i>	0	0
	P3E	11.339	3,06	2,83	9,32	<i>A. schaueriana</i>	80,39	7,00
						<i>L. racemosa</i>	8,45	3,28
						<i>R. mangle</i>	0,44	0,43

Legenda: adaptado de Estrada *et al.*, (2013).

Tabela 16 – Dados da produção média anual de folhas ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) das espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana* e *Laguncularia racemosa* nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição entre 2009 e 2019 no manguezal de Guaratiba.

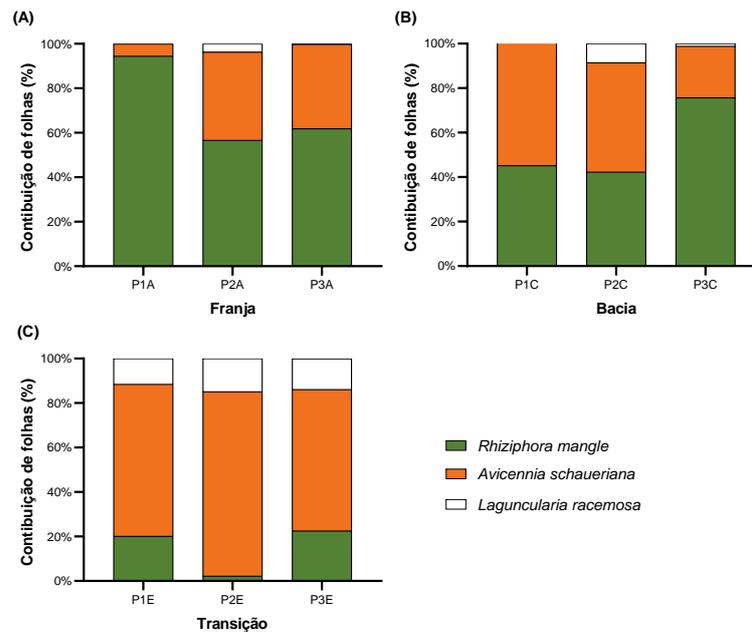
TIPO FISIOGRAFICO	ESTAÇÃO / ESPÉCIE	PRODUÇÃO MÉDIA ANUAL ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)											PRODUÇÃO HISTÓRICA ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	
		P1A	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média
FRANJA	<i>Rhizophora mangle</i>	-	-	4,00	5,86	5,72	6,22	6,08	9,63	7,99	7,59	8,69	6,87 ± 1,74	94,45
	<i>Avicennia schaueriana</i>	-	-	0,33	0,10	0,25	0,31	0,38	0,47	0,91	0,53	0,33	0,40 ± ,23	5,51
	<i>Laguncularia racemosa</i>	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00 ± 0,00	0,04
	Total de Folhas	-	-	4,34	5,96	5,98	6,53	6,47	10,10	8,90	8,12	9,02	7,27 ± 1,86	100,00
	P2A	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média	%
	<i>Rhizophora mangle</i>	4,87	4,87	3,91	4,99	5,01	3,84	3,40	4,42	3,35	3,29	2,86	4,07 ± 0,79	56,62
	<i>Avicennia schaueriana</i>	2,87	1,85	2,38	2,18	2,67	2,92	2,68	3,05	2,90	4,04	3,84	2,85 ± 0,65	39,64
	<i>Laguncularia racemosa</i>	0,33	0,53	0,45	0,33	0,32	0,29	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,27 ± 0,20	3,74
	Total de Folhas	8,07	7,24	6,75	7,50	8,01	7,05	6,58	7,67	6,25	7,32	6,69	7,19 ± 0,59	100
	P3A	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média	%
	<i>Rhizophora mangle</i>	-	-	2,97	4,48	4,36	3,94	3,49	4,53	4,19	4,30	4,26	4,06 ± 0,52	61,87
	<i>Avicennia schaueriana</i>	-	-	2,20	1,91	2,89	2,62	2,43	2,71	2,87	1,98	2,81	2,49 ± 0,38	37,96
	<i>Laguncularia racemosa</i>	-	-	0,01	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01 ± 0,02	0,18
	Total de Folhas	-	-	5,18	6,40	7,31	6,55	5,92	7,24	7,06	6,31	7,07	6,56 ± 0,70	100,00
	BACIA	P1C	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média
<i>Rhizophora mangle</i>		-	-	2,02	3,10	3,38	2,33	2,16	2,86	2,26	2,40	2,56	2,56 ± 0,46	44,20
<i>Avicennia schaueriana</i>		-	-	1,73	2,38	2,57	3,00	2,76	3,37	4,31	4,02	4,78	3,21 ± 0,99	55,36
<i>Laguncularia racemosa</i>		-	-	0,06	0,04	0,04	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03 ± 0,02	0,44
Total de Folhas		-	-	3,82	5,52	5,99	5,37	4,95	6,24	6,58	6,42	7,34	5,80 ± 1,03	100,00
P2C		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média	%
<i>Rhizophora mangle</i>		2,09	2,24	1,87	2,36	2,51	1,88	1,80	1,92	1,90	1,97	2,69	2,11 ± 0,30	42,32
<i>Avicennia schaueriana</i>		3,46	1,68	1,54	1,48	2,12	2,35	2,60	2,37	2,78	2,57	4,02	2,45 ± 0,78	49,14
<i>Laguncularia racemosa</i>		0,79	0,57	0,57	0,42	0,29	0,24	0,27	0,22	0,38	0,49	0,44	0,43 ± 0,17	8,54
Total de Folhas		6,33	4,49	3,98	4,26	4,92	4,47	4,68	4,50	5,05	5,02	7,15	4,99 ± 0,94	100

Tabela 16 – Continuação.

	P3C												Média	%	
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019			
BACIA	<i>Rhizophora mangle</i>	-	-	2,84	5,09	5,93	4,35	4,02	4,99	4,52	4,46	4,73	4,55 ± 0,84	75,70	
	<i>Avicennia schaueriana</i>	-	-	0,97	0,78	0,86	1,09	1,22	1,41	1,72	1,86	2,62	1,39 ± 0,59	23,17	
	<i>Laguncularia racemosa</i>	-	-	0,16	0,18	0,13	0,07	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,07 ± 0,07	1,13	
	Total de Folhas	-	-	3,97	6,05	6,93	5,51	5,27	6,42	6,25	6,32	7,35	6,01 ± 0,99	100,00	
		P1E	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média	%
TRANSIÇÃO	<i>Rhizophora mangle</i>	-	-	0,05	0,16	0,50	0,34	0,78	1,75	1,72	2,01	3,07	1,15 ± 1,03	20,10	
	<i>Avicennia schaueriana</i>	-	-	1,34	2,27	3,72	4,41	3,70	4,47	4,91	5,22	5,26	3,92 ± 1,35	68,35	
	<i>Laguncularia racemosa</i>	-	-	1,42	1,15	1,14	0,90	0,82	0,23	0,14	0,13	0,04	0,66 ± 0,53	11,55	
	Total de Folhas	-	-	2,81	3,58	5,36	5,64	5,30	6,45	6,77	7,36	8,38	5,74 ± 1,76	100,00	
		P2E	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média	%
	<i>Rhizophora mangle</i>	0,00	0,01	0,05	0,00	0,12	0,03	0,04	0,03	0,02	0,22	0,89	0,13 ± 0,26	2,21	
	<i>Avicennia schaueriana</i>	6,64	3,43	0,79	2,06	3,27	3,19	3,46	5,47	7,00	7,46	10,10	4,81 ± 2,76	82,88	
	<i>Laguncularia racemosa</i>	0,70	0,57	0,51	1,15	1,72	1,63	1,04	0,83	0,58	0,45	0,34	0,86 ± 0,47	14,91	
	Total de Folhas	7,34	4,00	1,35	3,22	5,11	4,85	4,54	6,34	7,60	8,14	11,32	5,80 ± 2,73	100	
		P3E	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Média	%
	<i>Rhizophora mangle</i>	-	-	0,01	0,24	0,19	0,36	0,69	1,08	1,47	2,03	2,11	0,91 ± 0,80	22,58	
	<i>Avicennia schaueriana</i>	-	-	0,60	0,22	0,94	1,89	2,30	2,89	4,32	5,22	4,68	2,56 ± 1,85	63,63	
	<i>Laguncularia racemosa</i>	-	-	0,82	0,84	0,88	0,23	0,09	0,33	0,63	0,72	0,46	0,56 ± 0,29	13,79	
Total de Folhas	-	-	1,42	1,30	2,01	2,48	3,08	4,30	6,43	7,97	7,26	4,03 ± 2,58	100,00		

Na **Figura 11** é apresentada a contribuição relativa por espécie nos diferentes tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba. A partir desses dados foi possível comparar a contribuição de folhas de cada espécie na serapilheira à zonação da floresta.

Figura 11 – Produção relativa de folhas por espécies para as estações de (A) franja, (B) bacia e (C) transição do manguezal de Guaratiba-RJ entre 2009 e 2019.



Fonte: O autor, 2022.

Nas estações de franja da floresta de mangue de Guaratiba (P1A, P2A e P3A), temos maior contribuição por *R. mangle* em todas as estações (94,45%, 56,62% e 61,87%). *A. schaueriana* contribui com 5,51%, 39,64% e 37,96% respectivamente. A contribuição de *L. racemosa* é inferior a 4% em uma das estações e inexistente nas duas outras (**Figura 11A**).

Para as estações de bacia, *R. mangle* apresenta a maior contribuição na estação P3C (75,70%) e contribuições de 45,20% e 42,32% nas estações P1C e P2C, respectivamente (**Figura 11B**). Nestas estações a contribuição de folhas por *A. schaueriana* é maior que na franja, contribuindo com 55,36%, 49,14% e 23,17% nas estações P1C, P2C e P3C, respectivamente. A produção é complementada por *L. racemosa* nas estações P2C e P3C, com 8,54% e 1,13%, e com 0,44% na estação P1C.

Nas estações de transição do manguezal de Guaratiba (**Figura 11C**), temos as maiores contribuições de folhas de *A. schaueriana* e *L. racemosa*. *A. schaueriana* contribui com 68,35%, 82,88% e 63,63% nessas estações. Já *L. racemosa* contribui com 11,55%, 14,91% e 13,79%. Mesmo ocorrendo maiores contribuições das outras espécies em relação aos demais

tipos fisiográficos, *R. mangle* é presente com contribuições de 20,10%, 2,21% e 22,50% nas estações de transição.

Quanto à contribuição em área basal por espécies (**Tabela 15**), na franja há maior contribuição por parte de *A. schaueriana* em todas as estações (51,11% 62,43% e 48,82% nas estações P1A, P2A E P3A, respectivamente), mas *R. mangle* também apresenta alta contribuição (40,13% 29,30% e 42,94% nas estações P1A, P2A E P3A, respectivamente); na bacia, *A. schaueriana* mantém-se dominante (variando de 38,22% a 59,82% de contribuição em área basal viva), com contribuição por *R. mangle* variando de 23,27% a 34,17%. Na transição, assim como na franja e bacia, ocorre maior dominância em área basal de *A. schaueriana*, porém, neste tipo fisiográfico observam-se as maiores contribuições em área basal da espécie *L. racemosa* no manguezal de Guaratiba (variando de 8,45% a 13,33%).

Comparando a contribuição relativa por espécie na produção de folhas da serapilheira com a contribuição em área basal de indivíduos vivos de Estrada *et al.* (2013) (**Tabela 15**), vemos que mesmo a contribuição por área basal na franja ser composta de 48,8% a 62,43% indivíduos vivos de *A. schaueriana* a espécie *R. mangle* foi a que apresentou maior contribuição para o compartimento folhas, variando de 56,62% a 94,45% na estação P2A e P1A, respectivamente. *L. racemosa* apresenta valores coerentes de contribuição de folhas para a serapilheira (0,04 a 3,74 %) conforme sua contribuição em área basal.

Nas estações de bacia vemos que em relação à contribuição em área basal *A. schaueriana* tem dominância, seguido da espécie *R. mangle*. Tal característica é vista na contribuição relativa por espécie na produção de folhas da serapilheira nas estações P1C e P2C com contribuição de 55,36% e 49,14% de folhas de *A. schaueriana*, seguido da contribuição de 44,20% e 42,32% de folhas de *R. mangle*. A estação P3C tem um comportamento não esperado, apresentando contribuição de 75% da espécie *R. mangle* no compartimento folhas, estação com dominância em área basal de 56,93% de *A. schaueriana* e 26,59% de *R. mangle*.

Nas estações de transição observamos as maiores contribuições em área basal de indivíduos vivos de *L. racemosa* (variando de 8,45 a 13,33%) e as menores de *R. mangle* dentre os tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba. A dominância em área basal nestas estações é de *A. schaueriana*. Em comparação com os dados de contribuição relativa por espécie na produção de folhas da serapilheira, nesta área é visto que o padrão estrutural é seguido, com maior contribuição de folhas de *A. schaueriana* seguido por *R. mangle* e *L. racemosa*.

Das análises anteriormente apresentadas, percebe-se que a contribuição de folhas das diferentes espécies, na serapilheira nem sempre responde à contribuição em área basal das espécies na floresta de mangue. Nesse sentido, foi calculada a biomassa foliar de cada espécie para cada estação de amostragem do manguezal de Guaratiba conforme a metodologia descrita em **3.3 Análises Estatísticas**. Os resultados são apresentados na **Tabela 17**.

Quanto à contribuição em biomassa foliar por espécies (**Tabela 17**), na franja há maior contribuição por parte de *A. schaueriana* nas estações P2A e P3A, 56,51% e 59,64%, respectivamente. Já na estação P1A *R. mangle* apresenta maior contribuição dentre as espécies para a biomassa foliar (88,73%). Na floresta de bacia, a contribuição de *A. schaueriana* é maior somente na estação P1C (75,16%), com contribuição de 23,31% de *R. mangle* e 1,53% de *L. racemosa*. Nas demais estações da bacia, *R. mangle* apresenta maior contribuição de biomassa foliar, 73,43% em P3C e 55,52% em P2C. Na transição ocorre maior presença de indivíduos de *L. racemosa*, fazendo com que a contribuição desta espécie para a biomassa foliar varie de 22,40% (P1E) a 45,96% (P3E). As contribuições de *R. mangle* são de 47,63%, 22,94% e 2,71% nas estações P3E, P1E e P2E, respectivamente, enquanto *A. schaueriana* apresenta contribuições de 6,40%, 54,67% e 70,58% nessas mesmas estações.

Comparando a contribuição relativa de folhas das diferentes espécies na produção de serapilheira, com a contribuição em biomassa foliar das espécies na franja (**Tabela 17**), vemos que elas são coerentes na estação P1A, com contribuição em decrescente de *R. mangle*, *A. schauerianna* e *L. racemosa* de ambos parâmetros. Porém nas estações P2A e P3A mesmo *A. schauerianna* apresentado maior contribuição em biomassa foliar nessas estações (56,51% e 59,64%, respectivamente), *R. mangle* domina a produção de serapilheira, com 56,62% e 61,87, respectivamente. *L. racemosa* apresenta valores esperados de contribuição de folhas para a serapilheira conforme sua contribuição em biomassa foliar, além da área basal como relatado anteriormente.

Nas estações de bacia vemos que as estações P1C e P3C apresentam contribuição de folhas na serapilheira condizentes com a contribuição em biomassa foliar, onde em P1C as contribuições para folhas na serapilheira e biomassa foliar são, respectivamente, 44,2% e 23,31% de *R. mangle*, 55,36% e 75,16% de *A. schauerianna* e 0,44% e 1,53% de *L. racemosa*; e na estação P3E são, respectivamente, 75,70% e 73,43% de *R. mangle*, 23,17% e 19,44% de *A. schauerianna* e 1,13% e 7,13% de *L. racemosa*. A estação P2C mesmo apresentado maior contribuição em biomassa foliar de *R. mangle* (55,52%), apresenta *A. schauerianna* com maior contribuição de folhas na serapilheira (49,14%), tendo 41,14% de contribuição em biomassa foliar.

Tabela 17 – Contribuição de folhas das espécies de mangue para a serapilheira, área basal e biomassa foliar das estações de franja, bacia e transição do manguezal de Guaratiba – RJ.

Estação	Espécie	Contribuição folhas serapilheira (%)	Contribuição em área basal (%)		Contribuição biomassa foliar (%)
			viva	morta	
P1A	<i>Rhizophora mangle</i>	94,45	40,13	0,63	88,73
	<i>Avicennia schaueriana</i>	5,51	51,11	0,62	11,27
	<i>Laguncularia racemosa</i>	0,04	7,52	0	0,00
P2A	<i>Rhizophora mangle</i>	56,62	29,3	4,08	41,77
	<i>Avicennia schaueriana</i>	39,64	62,43	0	56,51
	<i>Laguncularia racemosa</i>	3,74	4,19	0	1,72
P3A	<i>Rhizophora mangle</i>	61,87	42,94	2,24	40,36
	<i>Avicennia schaueriana</i>	37,96	48,82	6	59,64
	<i>Laguncularia racemosa</i>	0,18	0	0	0,00
P1C	<i>Rhizophora mangle</i>	44,2	23,27	1,59	23,31
	<i>Avicennia schaueriana</i>	55,36	59,82	1,01	75,16
	<i>Laguncularia racemosa</i>	0,44	6,99	7,31	1,53
P2C	<i>Rhizophora mangle</i>	42,32	34,17	2,95	55,52
	<i>Avicennia schaueriana</i>	49,14	38,22	20,23	41,14
	<i>Laguncularia racemosa</i>	8,54	4,43	0	3,34
P3C	<i>Rhizophora mangle</i>	75,7	26,59	0,56	73,43
	<i>Avicennia schaueriana</i>	23,17	56,93	9,09	19,44
	<i>Laguncularia racemosa</i>	1,13	6,31	0,52	7,13
P1E	<i>Rhizophora mangle</i>	20,1	71,37	10,85	22,94
	<i>Avicennia schaueriana</i>	68,35	13,33	3,1	54,67
	<i>Laguncularia racemosa</i>	11,55	1,35	0	22,40
P2E	<i>Rhizophora mangle</i>	2,21	0	0	2,71
	<i>Avicennia schaueriana</i>	82,88	77,9	8,1	70,58
	<i>Laguncularia racemosa</i>	14,91	12,09	1,92	26,72
P3E	<i>Rhizophora mangle</i>	22,58	0,44	0,43	47,63
	<i>Avicennia schaueriana</i>	63,63	80,39	7	6,40
	<i>Laguncularia racemosa</i>	13,79	8,45	3,28	45,96

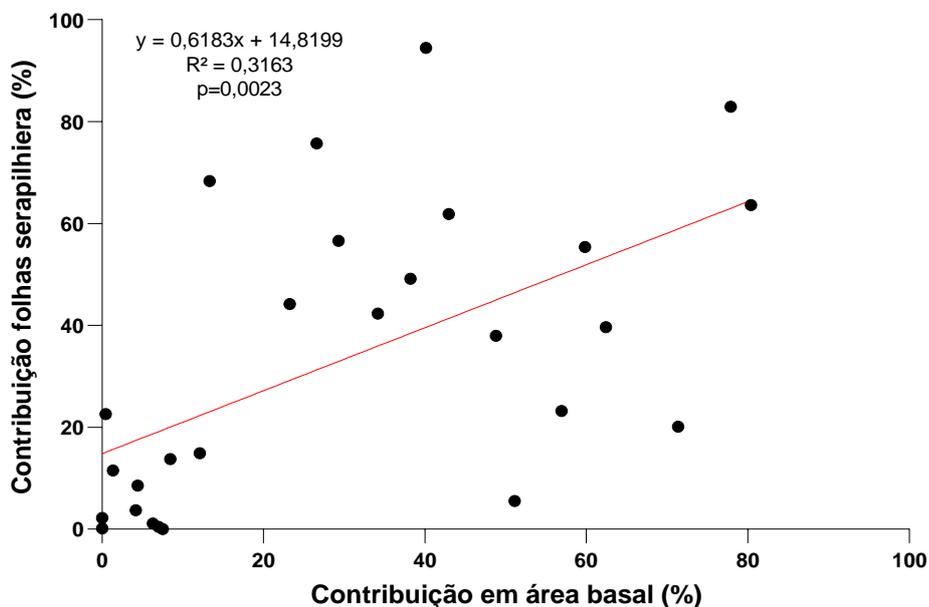
Nas estações de transição observamos as maiores contribuições em biomassa foliar de *L. racemosa*, variando de 22,40% em P1E a 45,96% em P3E. Nas estações P1E e P2E é nítida

a relação entre a biomassa foliar e a contribuição de folhas na serapilheira. Na estação P3E é visto um resultado peculiar, onde a contribuição em biomassa foliar de *A. schauerianna* é 6,40%, porém a contribuição em folhas na serapilheira é 63,63%, além da contribuição em área basal ser 80,39%.

As relações entre a contribuição de folhas na serapilheira e as contribuições em área basal e biomassa foliar pelas espécies de mangue de Guaratiba podem ser observadas através das regressões apresentadas a seguir na **Figura 12** e **Figura 13**.

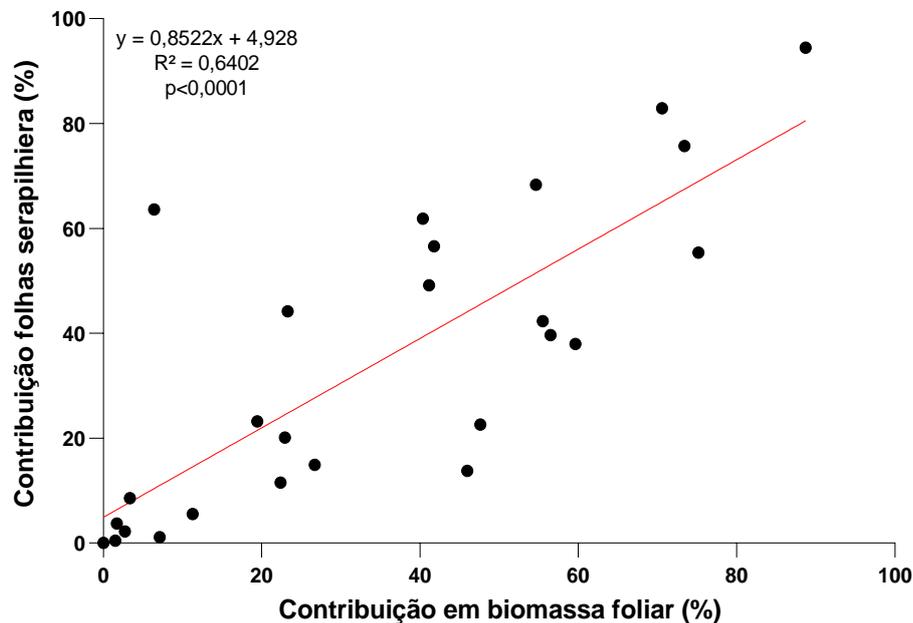
O resultado da regressão entre a Contribuição em área basal (%) e a Contribuição de folhas na serapilheira (%) (**Figura 12**) indica relação positiva entre esses dois parâmetros, ou seja, quanto maior os valores em área basal viva pelas espécies, maior são os valores de folhas na produção de serapilheira. Com ajuste de $R^2=0,3163$, essa correlação foi significativa ($p<0,001$). Já quando analisado a Contribuição em biomassa foliar (%) com a Contribuição de folhas na serapilheira (%) é visto um maior ajuste da reta de regressão, com $R^2 = 0,6402$ e tendência positiva, indicando que maiores valores de biomassa foliar disponibilizada pelas árvores acarretam em maiores valores de folhas na serapilheira.

Figura 12 – Regressão entre a Contribuição em área basal (%) e a Contribuição de folhas na serapilheira (%) das espécies do manguezal de Guaratiba – RJ.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 13 – Regressão entre a Contribuição em biomassa foliar (%) e a Contribuição de folhas na serapilheira (%) das espécies do manguezal do manguezal de Guaratiba – RJ.



Fonte: o autor, 2022.

Quando analisado os três fatores a partir de regressão múltipla, tendo a contribuição de folhas na serapilheira como variável dependente obtemos regressão múltipla significativa ($F=29,46$ e $p<0,001$) com ajuste de $R^2= 0,6864$, com a seguinte equação:

$$\% \text{Folhas serapilheira} = -0,4977 + 0,3180 * C_{AB} + 0,7293 * C_{BF},$$

Onde:

C_{AB} = Contribuição em área basal (%)

C_{BF} = Contribuição em biomassa foliar (%)

Estes resultados, mostram que há dependência da produção de folhas para os parâmetros área basal viva e biomassa foliar das espécies na floresta. Porém a correlação com a biomassa foliar apresenta melhor ajuste. Esta relação é maior pois a biomassa foliar depende de outras características da floresta que muitas vezes não são contempladas quando se analisa apenas a área basal. De acordo com Soares (1997) ocorre variação biomassa com o desenvolvimento estrutural das árvores para diversos compartimentos, além de ser afetada, de uma forma geral, por fatores ambientais e pela intervenção humana alterando diretamente a arquitetura desses vegetais. Tais informações tornam importante verificar as relações da produção de serapilheira e os parâmetros estruturais da floresta.

Porém, a diferença de composição de espécies nas estações deve ser considerada pois como indicado em estudos anteriores, a produção de serapilheira varia também entre as espécies de mangue (WAFAR; UNTAWALE; WAFAR, 1997). Clarke *et al.* (1993) demonstram como a produção de serapilheira varia entre as espécies ao comparar espécies dos gêneros *Avicennia* e *Aegiceras*. Esses autores explicam tal variação em função da porcentagem da produtividade alocada em cada tipo de estrutura vegetal. De acordo com Silva (2018), as espécies de mangue em Guaratiba apresentam densidade foliar entre as espécies em ordem decrescente de *L. racemosa* (0,0184 g/cm²), *R. mangle* (0,0128 g/cm²) e *A. Schaueriana* (0,0120 g/cm²). Essa informação se torna importante quando verificamos as relações entre a produção de folhas nas estações P2A e P3A, onde mesmo ocorrendo maior contribuição em área basal e biomassa foliar por *A. schaueriana*, a espécie *R. mangle* apresenta maiores contribuições para a produção de folhas, uma possível resposta às diferenças de densidade entre as espécies.

No presente estudo foi visto que nem sempre a produção de serapilheira irá seguir a contribuição em área basal pelas espécies, sendo importante o cálculo de biomassa foliar disponível em cada estação. A regressão entre a contribuição de folhas e contribuição em biomassa foliar apresentam melhor ajuste quando comparada a regressão da contribuição de folhas com a contribuição em área basal como variável independente. Entretanto quando considerado os dois fatores (contribuição em área basal e biomassa foliar) é visto um melhor ajuste com a contribuição de folhas.

As relações entre a produção de serapilheira e as características estruturais da floresta de mangue de Guaratiba (Estrada *et al.*, 2013), tais como DAP médio (cm), altura média (m) e densidade (tr vivos.ha⁻¹) podem ser observadas através das regressões apresentadas a seguir nas **Figura 14**, **Figura 15** e **Figura 16**.

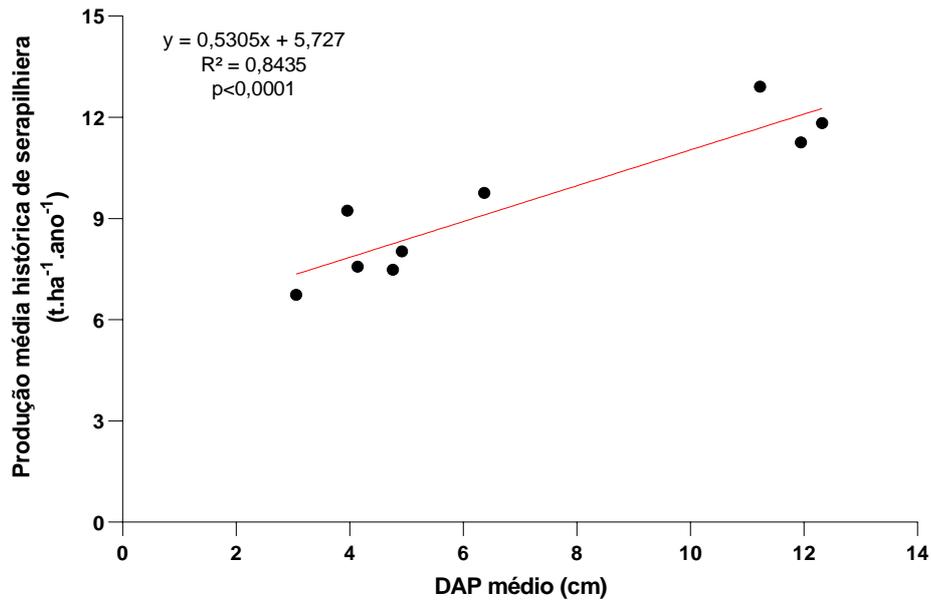
O resultado da regressão entre o DAP médio (cm) e a produção média histórica de serapilheira (ton.ha⁻¹.ano⁻¹) (**Figura 14**) indica relação positiva entre esses dois parâmetros, ou seja, quanto maior o DAP médio, maior é a produção de serapilheira. Com ajuste de $R^2 = 0,8435$, essa correlação foi significativa ($p < 0,001$).

O resultado da regressão entre a altura média (m) e a produção média anual de serapilheira (t.ha⁻¹.ano⁻¹) (**Figura 15**) indica relação positiva entre esses dois parâmetros, ou seja, quanto maior a altura média das árvores de mangue, maior é a produção de serapilheira. Com ajuste de $R^2 = 0,8339$, essa correlação foi significativa ($p < 0,001$).

O resultado da regressão entre a densidade (tr vivos.ha⁻¹) e a produção média anual de serapilheira (t.ha⁻¹.ano⁻¹) (**Figura 16**) indica relação negativa entre esses dois parâmetros, ou

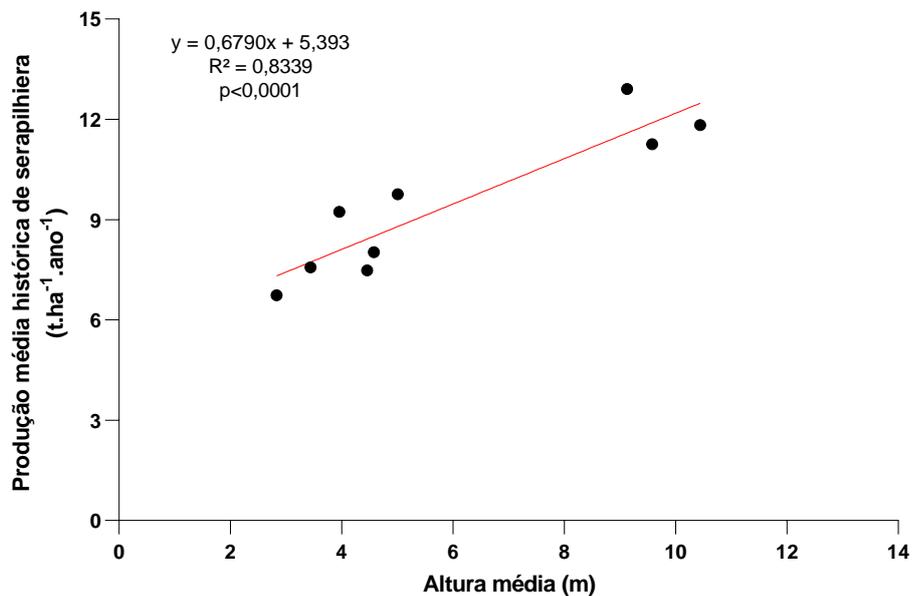
seja, quanto maior a densidade, menor é a produção de serapilheira. Com R^2 de 0,7783, essa correlação foi significativa ($p=0,0016$).

Figura 14 – Regressão entre o DAP médio (cm) e a Produção média histórica de serapilheira ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$) do manguezal de Guaratiba – RJ.



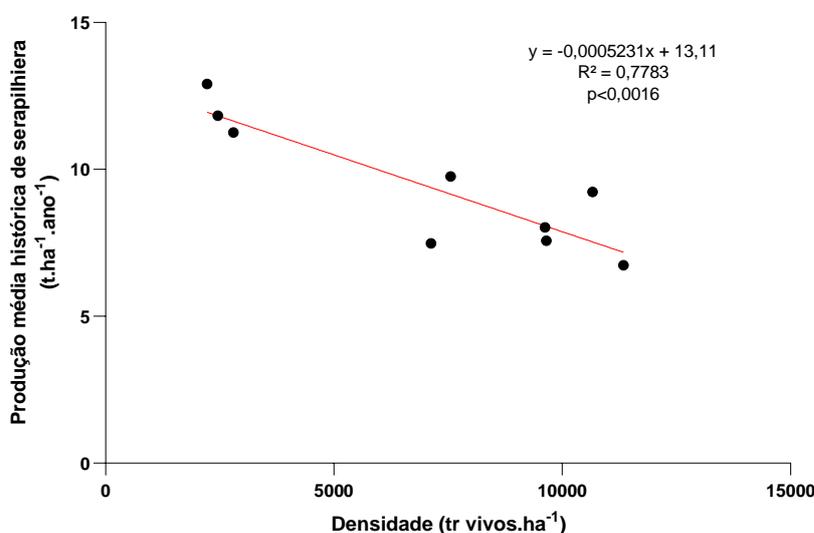
Fonte: O autor, 2022.

Figura 15 – Regressão entre a Altura média (m) e a Produção média histórica de serapilheira ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$) do manguezal de Guaratiba – RJ.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 16 – Regressão entre a Densidade (tr vivos.ha⁻¹) e a Produção média histórica de serapilheira (t.ha⁻¹.ano⁻¹) do manguezal de Guaratiba – RJ.

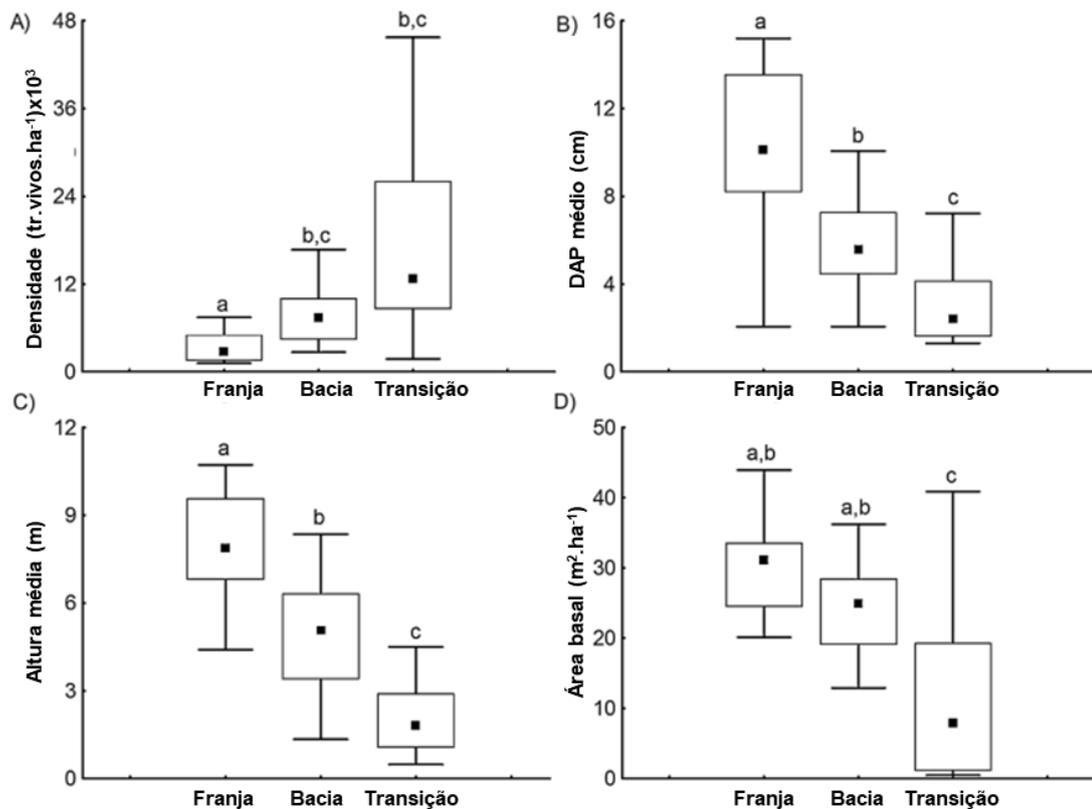


Fonte: O autor, 2022.

Em linhas gerais, as relações anteriormente apresentadas comprovam que a produção de serapilheira está diretamente e positivamente relacionada com o desenvolvimento estrutural das florestas de mangue, aumentando, conforme aumenta o desenvolvimento estrutural (maiores DAP médio e Altura média e menor densidade). De acordo com Estrada *et al.* (2013) em relação à estrutura da floresta há diferenças significativas para os parâmetros estruturais apresentados anteriormente entre os tipos fisiográficos e algumas semelhanças entre si, conforme a **Figura 17**. O DAP médio e a altura média são diferentes estatisticamente entre todos os tipos fisiográficos, com redução da franja para transição com a planície hipersalina. Não foi observada diferença significativa entre a bacia e transição para a densidade, e não foi observada diferença significativa entre as florestas de franja e bacia em relação à área basal.

Conforme os resultados apresentados por Estrada *et al.* (2013), e as relações vistas nas análises do presente estudo entre a produção de serapilheira e os parâmetros estruturais do manguezal de Guaratiba é possível associar que as diferenças no desenvolvimento estrutural dos tipos fisiográficos influenciam diretamente a produção de serapilheira no manguezal, com o DAP médio e altura média sendo os parâmetros com maiores ajustes nas regressões realizadas (**Figura 14** e **Figura 15**).

Figura 17 – Mediana (quadrados internos), quartis superior e inferior (caixas) e intervalo (barras) da densidade (A), DAP médio (B), altura média (C) e área basal (D) por tipo fisiográfico.



Legenda: Letras sobrescritas diferentes indicam diferença estatística entre os tipos fisiográficos.
 Fonte: Adaptado de Estrada *et al.*, 2013.

De acordo com Flores-Verdugo *et al.* (1987), o desenvolvimento estrutural da floresta, além de refletir as características ambientais locais, também exerce influência sobre a produção de serapilheira. No presente estudo, a análise do efeito do desenvolvimento estrutural sobre a produção de serapilheira no Piracão está diretamente relacionada ao maior desenvolvimento estrutural, indicado pela altura média, DAP médio e biomassa foliar, conforme encontrado por outros autores (DAY JR *et al.*, 1996; JAYAKODY *et al.*, 2008) e também anteriormente em Guaratiba por Machado (2014). Chaves (2007) observou correlação positiva entre o DAP médio da floresta e a produção de serapilheira. Assim, pode-se considerar que florestas de alto desenvolvimento estrutural, indicado pelo elevado valor de DAP médio, também possuem alta produção de serapilheira, como visto no presente estudo nas áreas de franja.

A partir do estudo realizado por Machado (2014) entre julho de 2010 e junho de 2012 na mesma área de estudo, para a produção de serapilheira foi encontrado maior produção nas florestas de franja e redução da produção conforme se aproximava ao interior da floresta, em

direção à planície hipersalina. Porém, a autora, em contrapartida ao apresentado no presente estudo (**Figura 8**, **Tabela 10** e **Tabela 11**, com dados de maior período amostral), não encontrou diferenças significativas entre os tipos fisiográficos. Esta ocorrência pode ter sido ocasionada pelo período amostral de apenas três anos, mostrando a importância de monitoramentos de longo prazo para o entendimento da ecologia de manguezais.

A produção de serapilheira, conforme descrito por Lugo e Snedaker (1974) e Cintrón e Schaeffer-Novelli (1983), pode ser governada pelos mesmos fatores que influenciam o desenvolvimento estrutural. O desenvolvimento estrutural das florestas de mangue depende de diversos fatores ambientais, como clima, geomorfologia, fatores edáficos e marés, entre outros. De forma geral, o maior desenvolvimento ocorre onde a topografia local é sujeita à grande amplitude de marés, há abundância de água doce, nutrientes e sedimentos. Em ambientes onde os fatores limitantes ao desenvolvimento se destacam, a estrutura das florestas é reduzida. A estrutura da floresta influencia a serapilheira de forma direta pela maior biomassa de material que é renovado, conforme maior desenvolvimento estrutural.

Twilley *et al.* (1986) encontraram, para florestas de mangue da Flórida, a produção de serapilheira diferindo entre os tipos fisiográficos da seguinte forma: floresta ribeirinha > floresta de franja > floresta de bacia > floresta arbustiva. Esses autores atribuíram essas diferenças ao gradiente de energia hidrológica, em grande parte influenciado pela frequência de inundação pelas marés. Tal tendência também foi encontrada por Coronado-Molina *et al.* (2012), onde a produção da franja e bacia apresentaram maiores valores quando comparadas às florestas arbustivas. Este padrão é visto no manguezal de Guaratiba, com maiores produções de serapilheira na franja e redução no interior da floresta.

Levando em consideração o aumento do rigor ambiental em direção à planície hipersalina, devido à redução do fluxo de água (POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975), a salinidade da água intersticial entre os tipos fisiográficos parece influenciar de maneira significativa a produção de serapilheira nas estações conforme os resultados apresentados anteriormente. O gradiente de salinidade da água intersticial observado no presente estudo é similar com o observado para estas mesmas florestas por Estrada *et al.* (2013) e Soares *et al.* (2017). São observadas menores salinidades próximo aos corpos hídricos, nas estações de franja, e aumento no sentido da transição da floresta e planície hipersalina. Este padrão está associado ao nível topográfico, logo à frequência de inundação pelas marés, ao longo do manguezal de Guaratiba. A relação entre a salinidade da água intersticial e frequência de inundação pelas marés também foi relatada por Estevam (2019). De acordo com o autor além do gradiente de salinidade acompanhar o gradiente de frequência de inundação pelas marés e

a topografia das florestas, há relações com os parâmetros climáticos em escala regional e global.

Para alguns autores a disponibilidade de água doce e de nutrientes é mais importante para a produção de serapilheira que o desenvolvimento estrutural. Tal fato é visto em Flores-Verdugo *et al.* (1987), em um estudo relacionando a produção de serapilheira e a estrutura da floresta de uma pequena lagoa da costa Pacífica do México. Nessa floresta de baixo desenvolvimento estrutural a alta produção de serapilheira era em razão ao amplo imput de água doce. Essa conclusão é coerente com as explicações de Pool *et al.* (1975), de que a produção de serapilheira seja uma resposta à entrada de água doce. Pool *et al.* (1975) também indicam que a disponibilidade de água doce e de nutrientes exerce maior influência sobre a produção de serapilheira que o desenvolvimento estrutural.

Entretanto, as relações de controle e dependência entre produção de serapilheira com a salinidade da água intersticial e a estrutura da floresta não podem ser comprovadas de forma definitiva. No presente estudo, tanto a salinidade quanto a estrutura da floresta variam com os tipos fisiográficos e de acordo com os testes estatístico a serapilheira apresenta relações significativas com ambos. Além disso, a estrutura da floresta é dependente da salinidade. Com isso, temos a salinidade que pode influenciar diretamente os processos fisiológicos e metabólicos das árvores de mangue e indiretamente no desenvolvimento estrutural, e temos o efeito da estrutura da floresta na disponibilização e renovação de biomassa para a serapilheira.

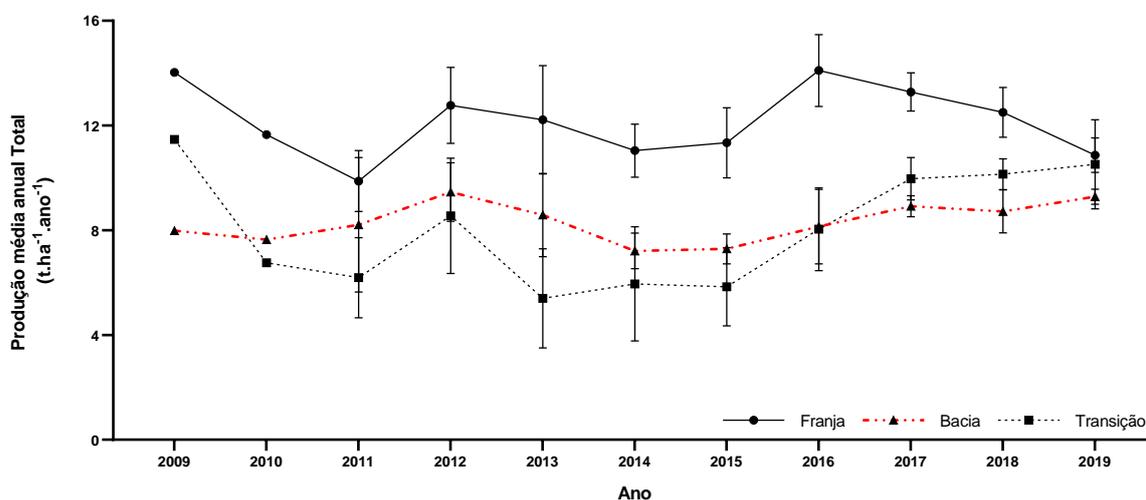
A frequência de inundação pelas marés no presente estudo foi inferida indiretamente pela análise dos tipos fisiográficos, que possuem diferentes frequências de lavagem pelas marés conforme sua distância do rio Piracão e microtopografia. Essas circunstâncias acarretam em diferentes condições de estresse hídrico, conforme as variações da salinidade da água intersticial e concentração de nutrientes nos tipos fisiográficos. O desenvolvimento estrutural em Guaratiba também varia nestas zonas, como possível resposta a essas condições. Com isso, pode se dizer que há influência da frequência de inundação pelas marés na produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba de forma positiva, ou seja, áreas com maior frequência de inundação, conseqüentemente menor salinidade e maior desenvolvimento estrutural (florestas de franja) apresentam maior produção de serapilheira em relação a áreas mais distantes do rio Piracão, com maior salinidade e menor desenvolvimento estrutural (florestas de transição). Adicionalmente, a produção de serapilheira pode ser influenciada pela composição das espécies em cada zona, que variam conforme a salinidade e o rigor ambiental.

4.2 Variação Temporal da Produção de Serapilheira

4.2.1 Variação interanual

Durante os 11 anos analisados, a produção máxima de serrapilheira foi de $14,10 \pm 1,37 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na floresta de franja no ano de 2016 e a produção mínima foi de $5,40 \pm 1,89 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no ano de 2013 no tipo fisiográfico transição (**Figura 18**). De acordo com as séries temporais foi observado que as maiores produções registradas em cada ano no manguezal de Guaratiba ocorreram sempre no tipo fisiográfico franja, enquanto as florestas de transição em maior parte da série temporal apresentaram as menores produções, entre os anos 2010 e 2016. As florestas de bacia apresentaram menor variação de produção de serapilheira durante o período analisado, variando entre $7,21 \pm 0,68 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no ano de 2014 a $9,46 \pm 1,12 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no ano de 2012.

Figura 18 – Produção média anual de serapilheira ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.

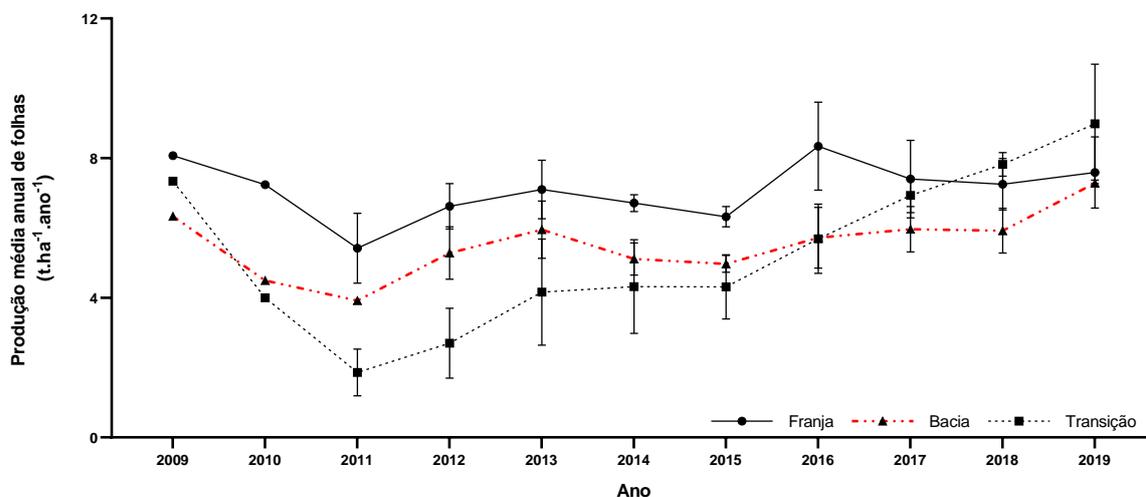


Fonte: o autor, 2022.

A produção média anual dos compartimentos que compõe a serapilheira nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba são apresentadas na **Figura 19**, **Figura 20**, **Figura 21**, **Figura 22** e **Figura 23**.

Observando a variação de folhas nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba durante os 11 anos de estudo (**Figura 19**), na floresta de franja é visto que a produção máxima é registrada no ano de 2016 com $8,34 \pm 1,26 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a produção mínima ocorreu em 2011 com $5,42 \pm 1,00 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, mesmos anos de produções máximas e mínimas registradas para a produção total de serapilheira. No geral, as maiores produções anuais de folhas na floresta de franja foram registradas entre 2009 -2010 e 2016 -2019. Na floresta de bacia a produção mínima de folhas da série de dados também foi registrada no ano de 2011, com $3,92 \pm 0,08 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a máxima em 2019 com $7,28 \pm 0,09 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, não apresentando estes registros nos mesmos anos que a produção total de serapilheira como ocorreu com a floresta de franja. No tipo fisiográfico transição a produção mínima de folhas também foi registrada em 2011, com $1,86 \pm 0,67 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a produção máxima ocorreu como na floresta de bacia, em 2019 com $8,98 \pm 1,71 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Figura 19 – Produção média anual de folhas ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.

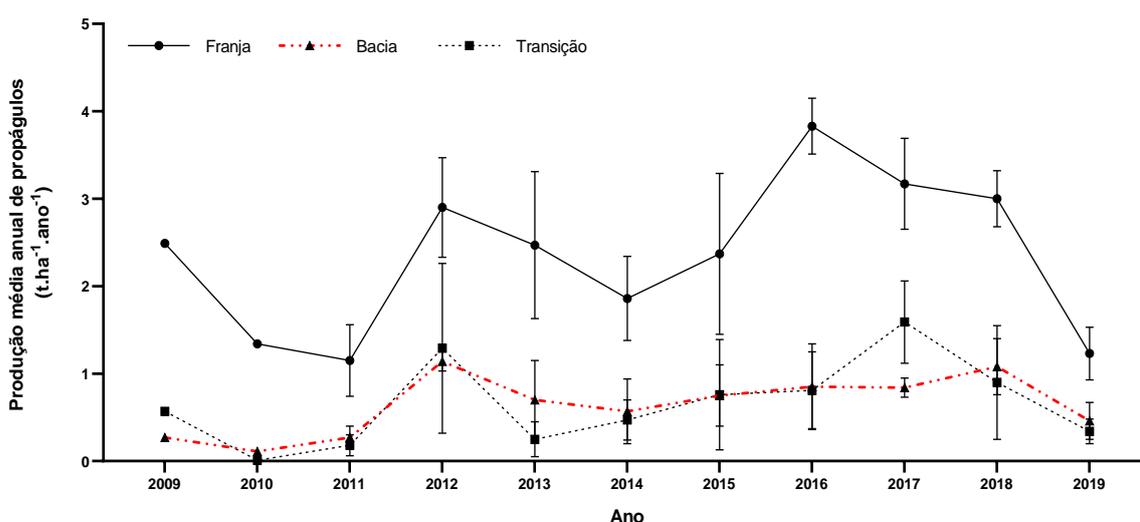


Fonte: O autor, 2022.

A produção média anual de folhas apresenta comportamento parecido em todos os tipos fisiográficos, com queda da produção entre os anos 2009 e 2011 que aumenta até o ano de 2013, apresenta pequena diminuição nas florestas de franja e bacia e leve aumento na floresta de transição até 2015. Em 2016 a floresta de franja apresenta pico da produção e estabilização entre 2017 e 2019. As florestas de bacia e transição apresentam aumento da produção de folhas a partir de 2016, onde a floresta de transição apresenta a maior produção de folhas entre todas os tipos fisiográficos e anos em 2019.

A produção de propágulos apresentou grandes variações nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba durante os 11 anos de estudo (**Figura 20**). Nas florestas de franja é visto que a produção máxima é registrada no ano de 2016 com $3,83 \pm 0,32 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a produção mínima ocorreu em 2010 com $1,15 \pm 0,45 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, mesmos anos de produções máximas e mínimas registradas para a produção total de serapilheira e folhas. Já nas florestas de bacia a produção mínima de propágulos foi registrada no ano de 2010, com $0,11 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a máxima dois anos depois (2012) com $1,14 \pm 0,11 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, não apresentando registros máximos e mínimos nos mesmos anos que a floresta de franja. No tipo fisiográfico transição a produção mínima de propágulos também foi registrada em 2010 como na floresta de bacia, com $0,01 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a produção máxima ocorreu em 2017 com $1,59 \pm 0,47 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Figura 20 – Produção média anual de propágulos ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.



Fonte: O autor, 2022.

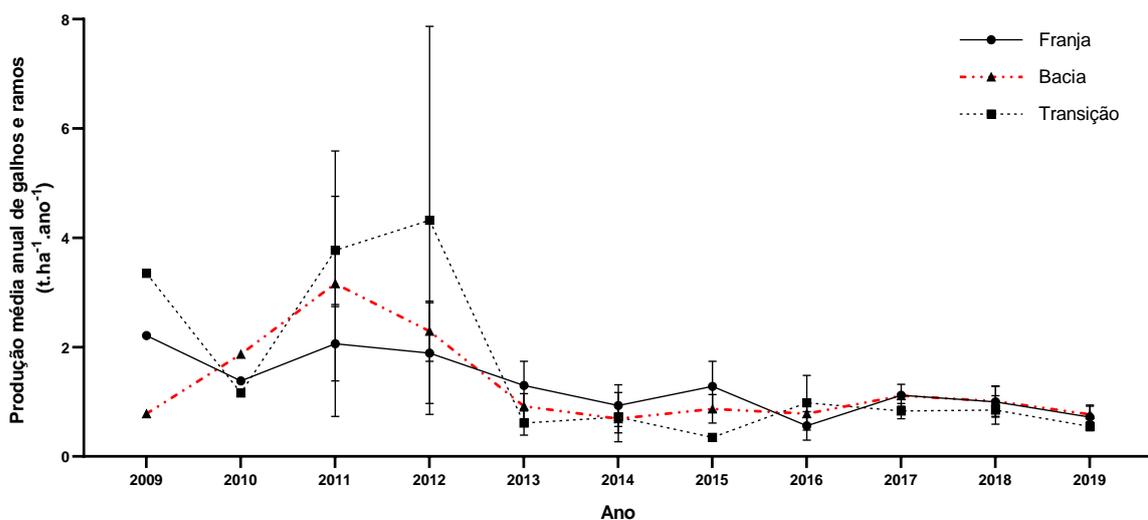
A produção média anual de propágulos apresenta, no geral, comportamento parecido em todos os tipos fisiográficos, entretanto com tempos de respostas diferentes. Na queda inicial da produção de propágulos da série, as florestas de bacia e transição apresentam picos de mínima um ano antes que as florestas de franja, em 2010. O aumento da produção posterior apresenta picos no mesmo ano, em 2012. Entre 2012 e 2014 são registradas quedas das produções em todos os tipos fisiográficos, onde os picos de mínima ocorrem primeiro nas florestas de transição (em 2013) e posteriormente nas florestas de franja e bacia no ano de

2014. Posteriormente, até o final da série, são registrados novos picos de alta produção: em 2016 nas florestas de franja, 2017 nas florestas de transição e 2018 nas florestas de bacia.

Observando a variação da produção de galhos e ramos nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba durante os 11 anos (**Figura 21**), é visto que cada tipo fisiográfico apresenta comportamento diferente entre 2009 e 2010. Nas florestas de franja inicia-se com queda da produção, a produção máxima é registrada em 2009 com $2,21 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a mínima em 2016 com $0,56 \pm 0,26 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Nas florestas de bacia a produção de galhos e ramos inicia-se com aumento que vai até o ano de 2011, ano de registro da máxima com $3,16 \pm 2,43 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, a mínima ocorreu em 2014 com $0,69 \pm 0,26 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. As florestas de transição iniciam a série com queda, como ocorreu com as florestas de franja, a produção máxima é registrada em 2012 com $4,32 \pm 3,55 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a mínima em 2015 com $0,35 \pm 0,06 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

A produção média anual de galhos e ramos apresenta o mesmo comportamento geral em todos os tipos fisiográficos, com aumento da produção a partir de 2011 que se mantem elevada até 2012 com posterior queda. Entre 2013 e 2016, a produção se mantem baixa e as florestas de franja e transição apresentam comportamentos opostos nos anos 2015 e 2016. A partir de 2017 o comportamento da produção de galhos e ramos ocorre da mesma forma em todos os tipos fisiográfico com leve queda que se estende até o final da série.

Figura 21 – Produção média anual de galhos e ramos ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.

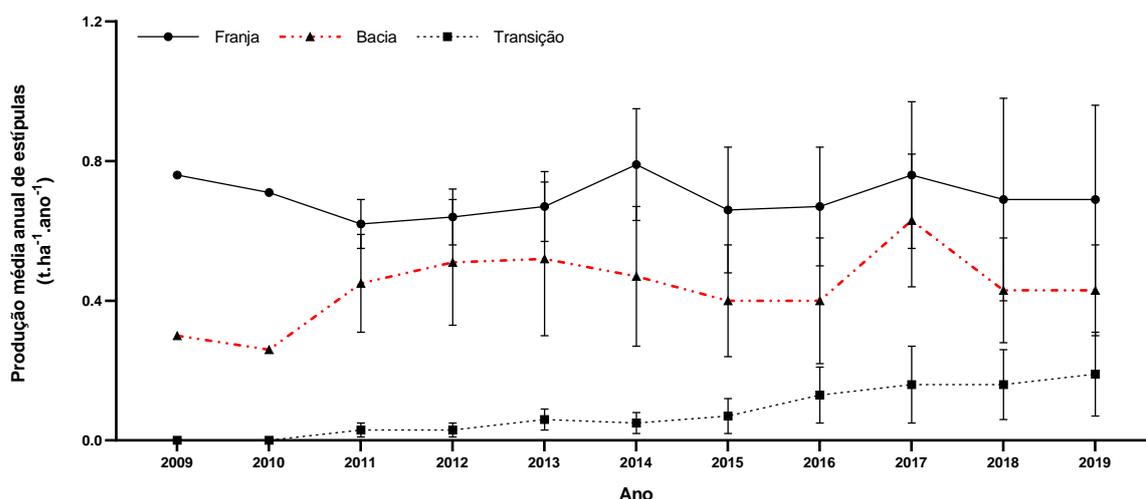


Fonte: O autor, 2022.

A produção de estípulas não apresentou grandes variações nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba durante os 11 anos (**Figura 22**). Nas florestas de franja é visto que a produção máxima é registrada no ano de 2014 com $0,79 \pm 0,16 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a produção mínima ocorreu em 2011 com $0,62 \pm 0,07 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Já nas florestas de bacia a produção mínima de estípulas foi registrada no ano de 2010, com $0,26 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a máxima em 2017 com $0,63 \pm 0,19 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, não apresentando registros máximos e mínimos nos mesmos anos que as florestas de franja. No tipo fisiográfico transição a produção mínima de estípulas foi registrada no início da série, ano de 2009, com produções abaixo de $0,01 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a produção máxima é registrado no último ano da série, ano de 2019, com $0,19 \pm 0,12 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

A produção média anual de estípulas apresenta maiores valores sempre nas florestas de franja, seguidas das florestas de bacia e transição. Na série de dados são vistos picos produtivos nas florestas de franja e bacia, com as florestas de bacia apresentando valores nos últimos dois anos maiores do que os apresentados no início da série. As florestas de transição apresentam aumento da produção de estípulas do início ao final da série, com pequenos picos de baixa nos anos 2012 e 2014 e 2018 durante este percurso.

Figura 22 – Produção média anual de estípulas ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.



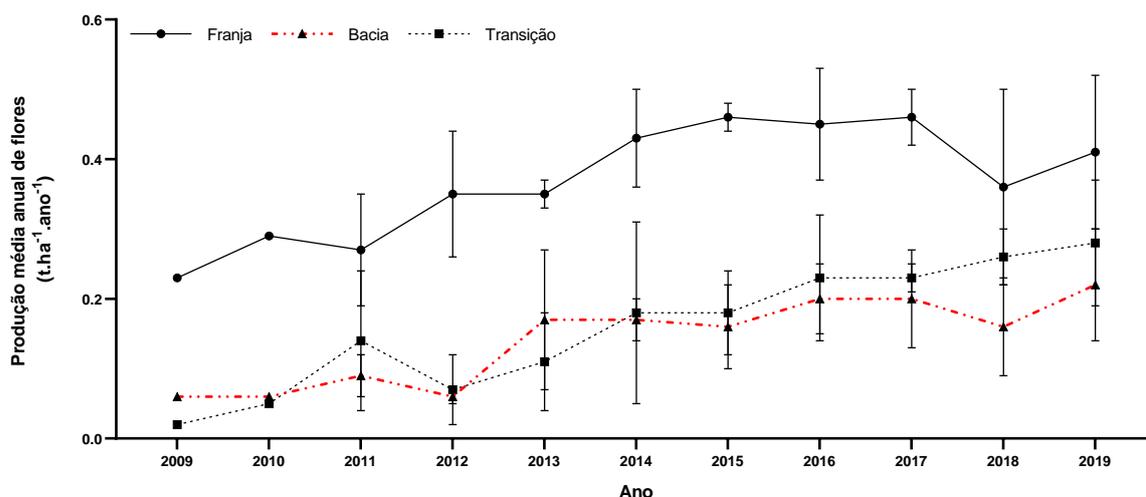
Fonte: O autor, 2022.

A produção de flores apresentou aumento nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba durante os 11 anos (**Figura 23**). Nas florestas de franja é visto que as maiores produções são registradas em 2015 e 2016 com $0,46 \pm 0,02 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $0,46 \pm 0,04 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$

$1.\text{ano}^{-1}$, respectivamente. A produção mínima nas florestas de franja ocorreu em 2009 com $0,23 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Já nas florestas de bacia as menores produções de flores foram registradas nos anos de 2009, 2010 e 2012 com $0,06 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a máxima em 2019 com $0,22 \pm 0,08 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. No tipo fisiográfico transição a produção mínima de flores foi registrada no início da série, ano de 2009, com produções abaixo de $0,05 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a produção máxima é registrada no último ano da série, ano de 2019, com $0,28 \pm 0,09 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

A produção média anual de flores apresenta as maiores produções sempre nas florestas de franja, seguidas das florestas de transição e bacia que se alternam em determinados anos. Na série de dados é observado aumento da produção deste compartimento em todos os tipos fisiográficos, em especial nas florestas de transição, que ultrapassam os valores de produção de flores nas florestas de bacia e se mantém a partir de 2014.

Figura 23 – Produção média anual de flores ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) nos tipos fisiográficos franja, bacia e transição da floresta de mangue de Guaratiba - RJ entre 2009 e 2019.



Fonte: O autor, 2022.

A análise de variância (**Tabela 18**) para a produção total de serapilheira entre os diferentes anos de estudo demonstrou haver diferença significativa entre os anos somente na transição ($P=0,0247$ e $F=2,8736$). Através dos grupos homogêneos gerados pelos pós teste de Tukey (**Figura 24A**) é visto que as diferenças na produção total de serapilheira da transição entre os anos são decorrentes aos anos de maiores produções (2009, 2017, 2018 e 2019) com os anos de menores produções (2011, 2013, 2014, 2015), com demais anos fazendo parte dos dois grupos (2010, 2012 e 2016).

Analisamos os compartimentos, são observadas diferenças significativas entre os anos para a produção de propágulos nas florestas de franja ($P=0,0034$ e $F=4,3387$). A partir dos grupos homogêneos gerados pelos pós teste de Tukey é visto que essas diferenças são entre os anos de menores (2011 e 2019) e maiores produções (2016), com os demais anos apresentado valores entre os dois grupos (**Figura 24B**).

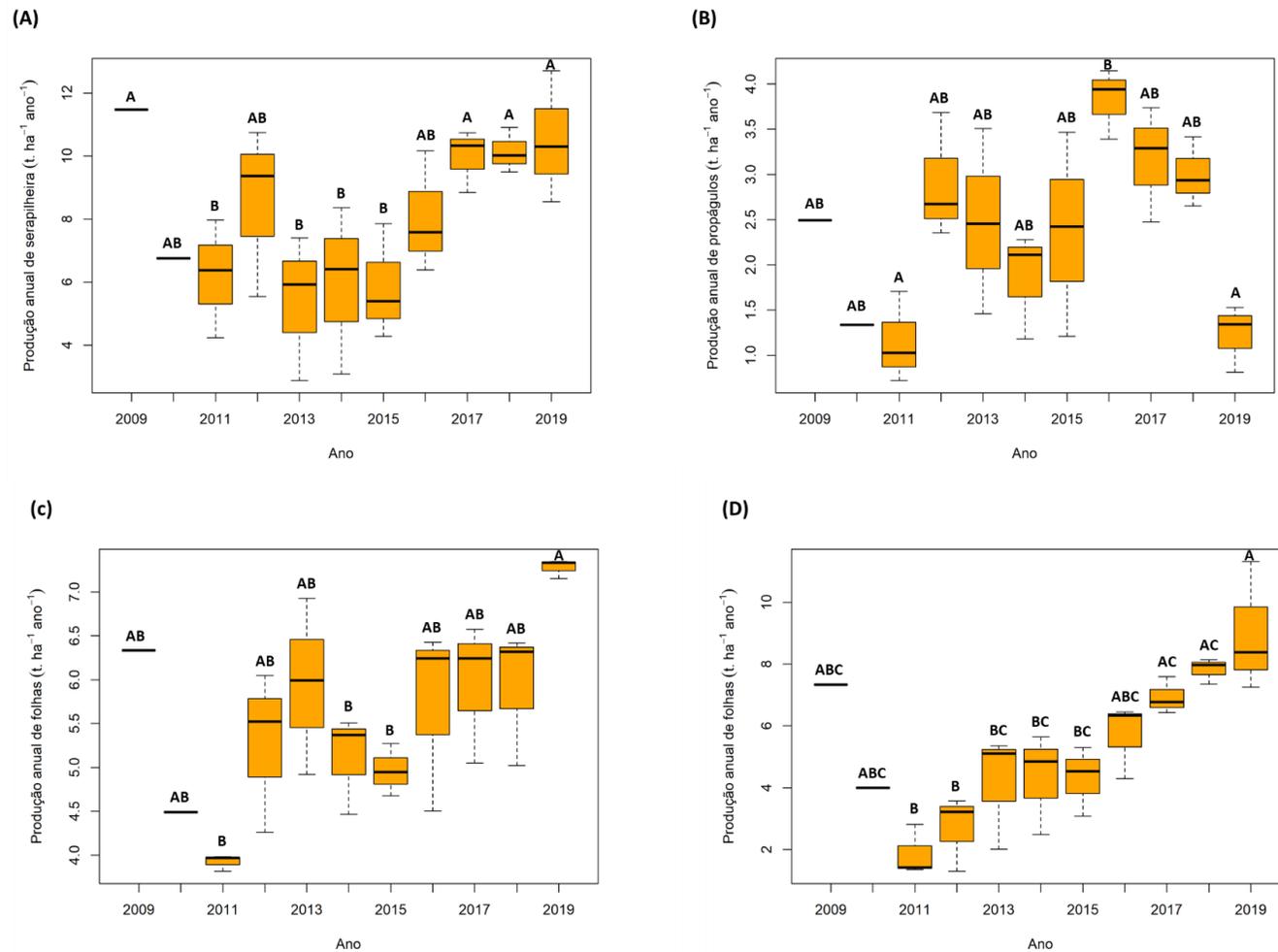
Também podemos observar diferenças significativas na produção de folhas entre os anos nas florestas de bacia ($P=0,0038$ e $F=4,2378$) e transição ($P=7,8201$ e $F=0,0001$) com distinção de grupos com maiores e menores valores de produção (**Tabela 18**). Dos grupos com diferenças significativas de folhas nas florestas de bacia (**Figura 24C**) gerados pelos pós teste de Tukey se destacam o ano 2011, de menores produções de folhas, e 2019, de maiores produções. Já os anos com diferenças significativas da produção de folhas nas florestas de transição (**Figura 24D**) se destacam pelos anos gerados conforme a produção diminui de 2009 até 2011 e aumenta até 2019.

Tabela 18 – Resultados obtidos a partir da ANOVA de medidas repetidas onde foi testada a similaridade da produção de serapilheira e seus compartimentos com os anos em estudo (2009 a 2019) do manguezal de Guaratiba-RJ.

Tipo Fisiográfico	Compartimento X Anos	Soma de quadrados	Média de quadrados	F	p
Franja	Serapilheira x Anos	46,3283	4,6328	1,9456	0,1052
	Folhas x Anos	17,8235	1,7823	1,6026	0,1843
	Propágulos X Anos*	20,5436*	2,0544*	4,3387*	0,0034*
	Galhos e ramos X Anos	6,9646	0,6965	2,0049	0,0956
	Estípulas X Anos	0,0748	0,0075	0,1459	0,9982
	Flores X Anos	0,1349	0,0135	1,3705	0,2691
Bacia	Serapilheira x Anos	15,9072	1,5907	0,6774	0,7316
	Folhas x Anos*	21,9394*	2,1939*	4,2378*	0,0038*
	Propágulos X Anos	2,4683	0,2468	1,6720	0,1645
	Galhos e ramos X Anos	18,0547	1,8055	1,6533	0,1696
	Estípulas X Anos	0,2011	0,0201	0,4413	0,9061
	Flores X Anos	0,0780	0,0078	1,3690	0,2697
Transição	Serapilheira x Anos*	115,6323*	11,5632*	2,8736*	0,0247*
	Folhas x Anos*	139,3764*	13,9376*	7,8201*	0,0001*
	Propágulos X Anos	6,0217	0,6022	1,5608	0,1974
	Galhos e ramos X Anos	57,1388	5,7139	2,4110	0,0501
	Estípulas X Anos	0,1111	0,0111	1,3056	0,2986
	Flores X Anos	0,1612	0,0161	1,6706	0,1649

Legenda: *resultados significativos ($p<0,05$)

Figura 24 – Blox-pot da produção de total de serapilheira nas florestas de transição (A), propágulos nas florestas de franja (B), folhas nas florestas de bacia (C) e folhas nas florestas de transição (D) para os anos em estudos (2009 a 2019) no manguezal de Guaratiba. As letras sobrescritas representam grupos diferentes a partir do pós-teste de Tukey ($p < 0,05$).



Legenda: Os anos 2009 e 2010 são compostas apenas por dados da transversal 2 em cada tipo fisiográfico.

De acordo com Machado (2014), a produção de serapilheira total em Guaratiba não apresenta variações anuais. Entretanto, as análises do presente estudo mostram que há diferenças significativas da produção total de serapilheira na transição da floresta (**Tabela 18**). A diferença encontrada entre os anos na transição parece ser uma resposta ao evento da praga ocorrido em Guaratiba entre 2009 e 2010. Sendo os resultados possíveis respostas ao evento de desfolhação severa, com maiores efeitos nas florestas localizadas na transição com a planície hipersalina e progressiva redução em direção às florestas de franja. Entretanto, a semelhança entre o ano inicial e anos finais da série, juntamente com os resultados apresentados no item **4.3.1**, mostram indícios de regeneração desta área da floresta a valores anteriores ao evento da praga.

Alleman e Hester (2011) indicaram que a ocorrência de uma perturbação promove maior crescimento vegetativo no ano seguinte que é acompanhado por redução do esforço reprodutivo, em resposta ao balanço entre a energia alocada em crescimento e reprodução. No entanto, deve-se salientar que a serapilheira é composta por frações de diferentes proporções e que a separação das mesmas é importante para averiguar diferenças da produção entre os anos. Quando testamos as diferenças da produção por compartimentos encontramos diferenças significativas entre os anos, principalmente em folhas (**Tabela 18**), compartimento de maior contribuição para a serapilheira, e propágulos. Diversos autores afirmam que a produção de serapilheira pode diferir entre os anos relacionado à resposta fisiológica da vegetação às alterações ambientais interanuais (ALLEMAN; HESTER, 2011; CHAVES, 2007; WOODROFFE, 1982).

Woodroffe (1982) já indicava a ocorrência de variações interanuais na produção de serapilheira, sugerindo, em particular, dois fatores causais para essa variação. Em primeiro lugar, o autor diz que a produção de frutos por cada árvore pode diferir substancialmente entre os anos; em segundo lugar, ressalta a possibilidade de que a queda da serapilheira durante as tempestades levasse a capturas singularmente elevadas, podendo contribuir desproporcionalmente aos totais anuais. No presente estudo, a produção de propágulos apresentou diferenças significativas interanuais apenas na franja do manguezal de Guaratiba (**Tabela 18**). Observando estes resultados juntamente com dados apresentados na **Figura 20**, é visto que há variação da produção de propágulos em todos os tipos fisiográficos e que ocorrem de forma semelhante, não sendo as diferenças significativas encontradas na produção entre os anos na franja uma possível resposta ao evento de praga de lagartas ocorrido entre 2009 e 2010, visto que em 2019 (ano de início de regeneração da praga) apresenta baixa e semelhante produção ao ano 2011 (ano de ápice da praga). Os resultados indicam que a

produção de propágulos em Guaratiba tem um comportamento onde apresenta picos produtivos a cada 3-4 anos. Entretanto, um estudo detalhado por espécie é necessário.

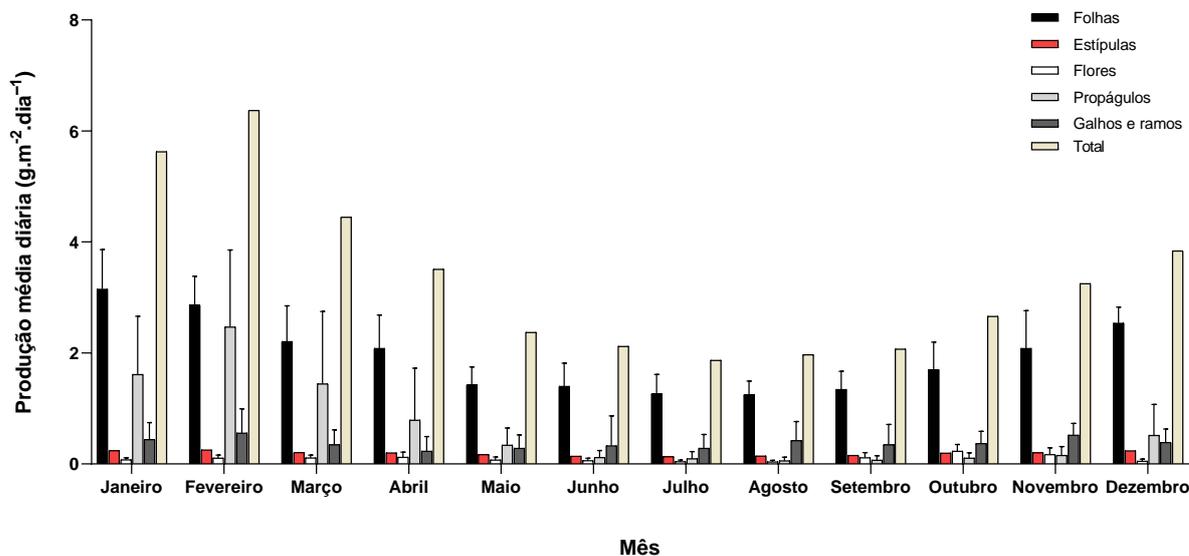
Conforme relatado por Estrada *et al.* (2013) e Machado (2014) em Guaratiba ocorreu um evento de praga causada por herbivoria em *A. schaeuriana* entre 2009 e 2010, e de acordo com o presente estudo a produção média anual de folhas apresenta comportamento parecido em todos os tipos fisiográficos (**Figura 19**), com queda da produção entre os anos 2009 e 2011, produção mínima de folhas em 2011 e valores elevados a partir de 2016 para toda a floresta. Este padrão é provavelmente reflexo da praga no manguezal de Guaratiba, acarretando nas diferenças interanuais vistas para bacia e transição, juntamente com valores elevados da produção de galhos e ramos neste mesmo período (**Figura 21**). Os efeitos da praga na floresta de Guaratiba são discutidos no item **4.3.1**.

4.2.2 Variação anual

Nesta seção será apresentada a produção média diária ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) de janeiro a dezembro, por compartimentos (folhas, flores, estípulas, propágulos e galhos e ramos) e total, obtida das coletas entre agosto de 2008 e dezembro de 2019 para cada mês. Na **Figura 25**, **Figura 26** e **Figura 27** estão plotadas estas informações para os tipos fisiográficos franja, bacia e transição, respectivamente.

Analisando a produção média diária de serapilheira de cada mês nas florestas de franja, folhas e propágulos são produzidos durante todo ano, apresentando todavia, alta sazonalidade, com altas registradas entre novembro e março (**Figura 25**), com produção máxima de folhas de $3,15 \pm 0,71 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em janeiro e produção de propágulos de $2,47 \pm 1,39 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em fevereiro. A produção de estípulas também é vista durante todo o ano, e acompanha o comportamento das folhas, sendo o seu menor valor registrado em julho ($0,13 \pm 0,03 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). A produção de flores apresenta dois picos produtivos durante o ano, um em abril e outro em outubro com $0,12 \pm 0,09 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $0,23 \pm 0,12 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. Galhos e ramos também são produzidos o ano todo, tendo seu máximo produtivo registrado em fevereiro com $0,56 \pm 0,43 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e mínimo em abril com $0,23 \pm 0,26 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. A produção total de serapilheira tem máxima de $6,37 \pm 1,69 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em fevereiro, composta em grande parte por folhas e propágulos.

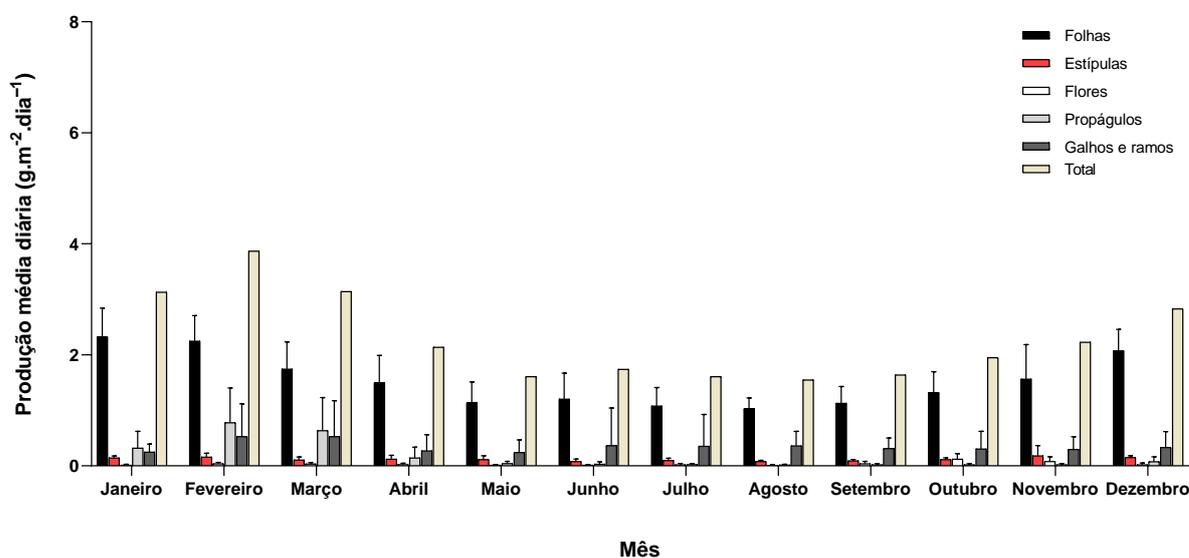
Figura 25 – Variação mensal da produção de serapilheira por compartimentos ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) nas florestas de franja do manguezal de Guaratiba (período 2008-2019).



Fonte: O autor, 2022.

No tipo fisiográfico bacia (**Figura 26**), altas produções de folhas e propágulos são registradas para os meses de dezembro a março. O maior registro da produção de folhas e propágulos também ocorrem nos mesmos meses que a floresta de franja, folhas com $2,33 \pm 0,51 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ em janeiro e propágulos com $0,78 \pm 0,62 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ em fevereiro. A produção de estípulas ocorre todo o ano acompanhando o comportamento da produção de folhas, sendo o seu menor valor registrado em junho ($0,08 \pm 0,04 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) e maior em novembro ($0,18 \pm 0,18 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$). A produção de flores apresenta dois picos produtivos durante o ano, um em fevereiro e outro em outubro com $0,04 \pm 0,02 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ e $0,12 \pm 0,09 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, respectivamente. Galhos e ramos também são produzidos o ano todo, tendo seu máximo produtivo registrado em março com $0,53 \pm 0,65 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ e mínimo em maio com $0,24 \pm 0,22 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$. A produção total de serapilheira tem máxima de $3,87 \pm 1,11 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ também em fevereiro, como nas florestas de franja, composta em grande parte por folhas, seguido por propágulos e galhos e ramos.

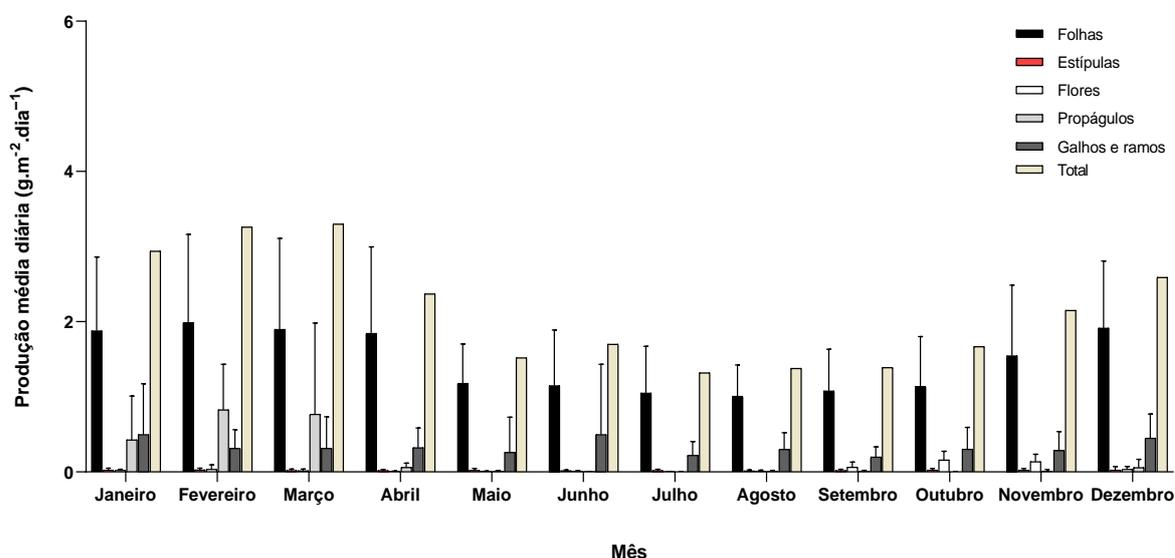
Figura 26 – Variação mensal da produção de serapilheira por compartimentos ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) nas florestas de bacia do manguezal de Guaratiba (período 2008-2019).



Fonte: O autor, 2022.

Na floresta de transição (**Figura 27**), altas produções de folhas são registradas entre dezembro e abril. A produção máxima de folhas é registrada em fevereiro com $1,99 \pm 1,18 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e a mínima em agosto com $1,01 \pm 1,42 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. A produção de propágulos é mais expressiva entre janeiro e março com sua maior produção ocorrendo em fevereiro ($0,83 \pm 0,60 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). A produção de estípulas ocorre todo o ano acompanhando o comportamento da produção de folhas, seus menores valores são registrados em junho e setembro, ficando abaixo de $0,02 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. A produção de flores apresenta pico produtivo entre setembro e novembro, ficando acima de $0,05 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com maior registro em outubro ($0,16 \pm 0,11 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). Galhos e ramos também são produzidos o ano todo, tendo seu máximo produtivo registrado em junho com $0,50 \pm 0,93 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. A produção total de serapilheira tem máxima de $3,30 \pm 2,12 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em março, composta em grande parte por folhas e propágulos, apresenta produção elevada em fevereiro como nas demais zonas, com $3,26 \pm 1,65 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$

Figura 27 – Variação mensal da produção de serapilheira por compartimentos ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) nas florestas de transição do manguezal de Guaratiba (período 2008-2019).



Fonte: O autor, 2022.

Considerando a produção média diária ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) apresentada para os compartimentos e total da serapilheira durante o ano (**Figura 25**, **Figura 26** e **Figura 27**), de forma geral, é observado um padrão oscilatório sazonal para os compartimentos folhas, propágulos e estípulas que apresentam maiores produções entre dezembro e março (verão) e menores produções nos meses de junho a setembro (inverno). O compartimento galhos e ramos não apresenta sazonalidade expressiva, porém tanto para as florestas de franja e bacia seu valor máximo registrado durante o ano é em fevereiro, já para o tipo fisiográfico transição é registrado em junho. As flores apresentaram dois picos produtivos para todos os tipos fisiográficos, um entre fevereiro e abril e outro entre setembro e novembro, tendo o mês de outubro com os maiores valores de produção deste compartimento. A produção total acompanha o comportamento dos compartimentos de maior contribuição percentual para a serapilheira, apresentando picos de produção em fevereiro nas florestas de franja e bacia, e em março na transição. Tais resultados mostram que a serapilheira no manguezal de Guaratiba apresenta um padrão sazonal da produção, em que os valores são elevados nos meses de verão e reduzidos nos meses de inverno.

Há vários estudos relatando sobre a variação anual da produção de cada compartimento da serapilheira, com contribuição percentual por compartimentos similar ao relatado no presente estudo (ARREOLA-LIZÁRRAGA; FLORES-VERDUGO; ORTEGA-

RUBIO, 2004; CARDOSO; CHAVES; SOARES, 2015; FERNANDES; SCARAMUZZA, 2007; GONÇALVES; FERNANDES; CARVALHO, 2006; MACHADO, 2014; MEHLIG, 2006; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975; WAFAR; UNTAWALE; WAFAR, 1997). Segundo Tomlinson (1986) as folhas de mangues são geralmente produzidas continuamente durante o ano, mas sua taxa de produção pode variar sazonalmente, apresentando maior produção nos meses de verão, mesmo período em que se concentra a produção de propágulos e estípulas em todas as estações de Guaratiba.

De acordo com Ochieng e Erfteimeijer (2002), as folhas também demonstram sazonalidade na produção. Em seu estudo, a produção de folhas é máxima quando condições ideais são criadas pelo alto escoamento de água doce, baixa evapotranspiração e redução do estresse causado pela salinidade. Essas informações sobre o efeito da seca são coerentes com a observação de Wafar *et al* (1997) e com a explicação de Pool *et al.* (1975), que relacionam a maior produção nos meses de verão à pluviosidade, fator que interfere na disponibilidade de água doce e de nutrientes, levando a condições mais favoráveis e possibilitando a substituição das folhas velhas por novas (LEE, 1989; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975; WOODROFFE *et al.*, 1988). Dessa forma, haveria mais recursos disponíveis para serem alocados na reprodução. De acordo com Adaime (1985), o aumento da incidência solar nesse período também levaria ao aumento da produção de tecidos fotossintéticos pela floresta e consequente eliminação das folhas velhas e com mais toxinas, aumentando assim a queda de folhas.

Arreola-Lizárraga *et al.* (2004) encontraram produção de folhas ocorrendo o ano todo, enquanto galhos, flores e propágulos foram observados no verão, quando há maior pluviosidade. Seguindo das folhas, temos a produção de propágulos e galhos e ramos como compartimento mais expressivos nas florestas de Guaratiba, tais resultados estão de acordo com o encontrado por outros autores (CHAVES, 2007; FERNANDES, 1997; MACHADO, 2014; PONTE *et al.*, 1984). Sessegolo (1997) e Larcher *et al.* (2014), ao estudarem manguezais do Paraná, também alcançaram resultados similares ao presente estudo, em que o compartimento folhas, mais significativo da produção, apresentou pico de maior produção entre os meses de novembro e fevereiro.

O presente estudo encontrou um padrão diferente do relatado por Gonçalves *et al.* (2006), em Furo Grande – Bragança (PA). De acordo com os autores a queda de serapilheira foi variável, com aumento da produção por volta de abril, entretanto, foram observadas variações com relação aos picos de produção que foram em junho e agosto, completamente oposto ao que é visto em Guaratiba. Em Gonçalves *et al.* (2006), existe uma correlação entre a produção de serapilheira e o período seco, e seus resultados apontam para um padrão geral

observado nas florestas tropicais, onde o pico da produção de serapilheira é registrado no período seco, o que pode estar relacionado com o balanço energético das plantas devido a abscisão de folhas representar uma economia de energia nos períodos de maior estresse hídrico (AMARASINGHE; BALASUBRAMANIAM, 1992).

Além disso, cada espécie apresenta suas particularidades no que diz respeito à produção de propágulos (CARDOSO; CHAVES; SOARES, 2015; FERNANDES, 1997). De acordo com Fernandes (1997) *L. racemosa* tem padrão comportamental de descontinuidade da produção de propágulos ao longo do ano, e durante alguns meses do ano flores e frutos não são registrados. O mesmo padrão de produção descontínua também foi observado por Carvalho (2002), em um estudo realizado com *R. mangle* e *A. germinans* na península de Bragança (Pará). No estudo de Wafar *et al* (1997), a presença de flores e frutos na serapilheira ficou restrita a determinada época do ano e galhos não foram muito representativos.

Fernandes *et al.* (2007) encontraram padrão oposto entre a produção de folhas e um padrão similar à produção de propágulos do presente estudo. De acordo com Fernandes *et al.* (2007) a produção de flores e folhas apresenta padrão similar ao longo do ano, havendo um sincronismo com a estação seca. Já a produção dos propágulos é maior nos meses chuvosos. Esse padrão evidencia um balanço de alocação de energia, em que o investimento feito na produção de flores e posteriormente propágulos torna a energia indisponível para as folhas, o que pode ser evidenciado pela maior abscisão foliar no período seco, descrito pelos autores como uma economia de energia necessária. A alta produção de propágulos no período de chuva, encontrada por Fernandes *et al.* (2007), é observada por outros autores (CARDOSO, 2014)(CARDOSO, 2014; MEHLIG, 2006; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975; WAFAR; UNTAWALE; WAFAR, 1997). De forma geral, essa tendência relaciona-se à alta demanda energética para a produção das estruturas reprodutivas, que se torna mais favorável em períodos de menor estresse hídrico (POOL *et al.*, 1975).

Em Cardoso (2014), foi realizado um estudo detalhado sobre a produção de propágulos no manguezal de Guaratiba. De acordo com a autora a produção de propágulos apresenta padrões diferentes para cada espécie nos tipos fisiográficos, áreas e anos do período monitorado (junho de 2010 a junho de 2013). Quando considerada a biomassa dos propágulos, *A. schaueriana* apresentou maior produção entre as espécies analisadas, apresentando padrão sazonal com picos nos meses de verão. *R. mangle* apresentou os maiores períodos contínuos de produção de propágulos, com maior produção ocorrendo em março. *L. racemosa* registrou os menores valores de biomassa em seu estudo, com meses de ausência de produção e com máxima produção na transição da floresta, apresentando padrões sazonais

com picos nos meses de verão. O presente estudo corrobora os resultados obtidos por Cardoso (2014) em relação ao período de maior produção de propágulos, onde as maiores produções são registradas para todos os tipos fisiográficos no mês de fevereiro, tendo suas produções mais altas entre dezembro e março e menores entre junho e setembro. Nas florestas de franja e bacia, onde a *R. mangle* e *A. schaueriana* são presentes é observa-se produção de propágulos durante todo ano, mesmo que em valores baixos. As florestas de transição, área que possui a maior presença de *L. racemosa*, não apresenta produção de propágulos em determinados meses, condizente com o apresentado por Cardoso (2014) e Fernandes (1997).

No estudo realizado por Bernini e Rezende (2010) no manguezal do estuário do Rio Paraíba do Sul, a maior incidência de flores foi registrada na estação chuvosa. A maior produção de frutos ocorreu entre o final da estação chuvosa e início da estação seca para *L. racemosa* e na estação chuvosa nas florestas de *A. germinans* e *R. mangle*. A maior queda de flores e frutos nas estações chuvosas pode refletir uma adaptação ao ambiente inundado, através da sincronia entre a dispersão de estruturas reprodutivas e momentos em que os níveis de água são mais favoráveis (JIMÉNEZ; SAUTER, 1991). No presente estudo, a maior queda de flores foi registrada no início do período seco da região, mês de agosto, entretanto produções expressivas são vistas entre janeiro e abril, período em que ocorre maiores chuvas na região.

O compartimento galhos e ramos não mostraram variação sazonal durante o período avaliado. Supõe-se que, fatores possivelmente atuantes na sazonalidade da queda de folhas seriam responsáveis também pelo padrão sazonal da queda de ramos (ARATO; MARTINS; FERRARI, 2003), contudo deve-se ressaltar que essa fração de serapilheira é a mais variável, tanto em quantidade como em sazonalidade (PROCTOR, 1984). Portanto, picos de produção de ramos também na estação chuvosa já foram constatados e relacionados com a ação mecânica das chuvas ou ventos (rajadas) na região (DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997).

4.2.3 Tendências e ciclos da produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba

Nesta seção serão apresentada análises de tendências da produção média diária ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) dos compartimentos galhos e ramos, flores, propágulos e estípulas da serapilheira. A partir da componente tendência obtida por decomposição clássica aditiva (**Figura 28** a **Figura 31**) e teste de Mann-Kendall (**Tabela 19**). Optou-se por não apresentar estas análises

para o compartimento folhas, devido o detalhamento realizado para este compartimento no item **4.3.1**.

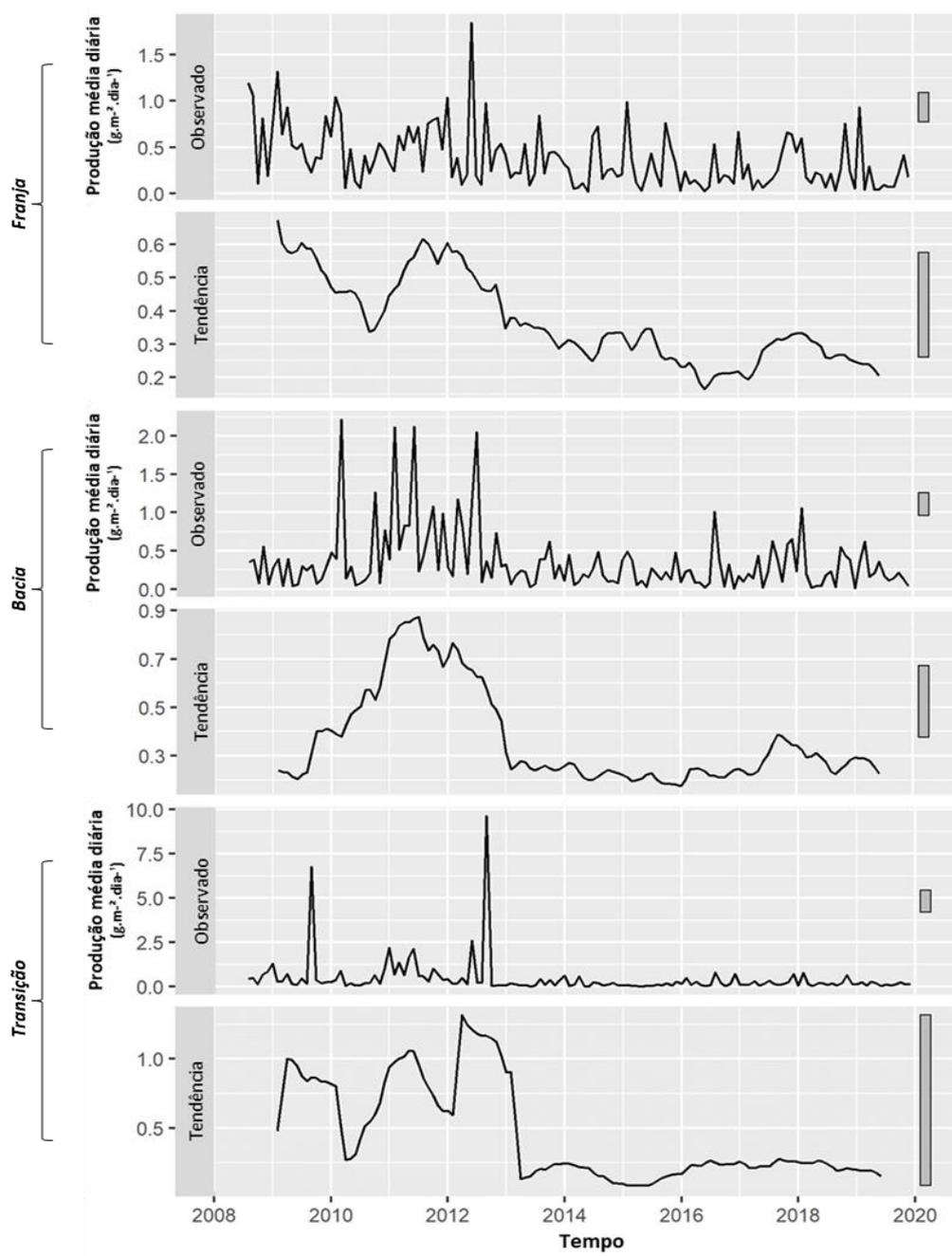
A produção de galhos e ramos na franja e bacia (**Figura 28**), a partir da componente tendência, apresenta pico entre 2011 e 2012 e se mantém estabilizada e com baixos valores no restante da série. Na transição a componente tendência apresenta três picos com altos valores de queda de galhos de ramos entre 2009 e 2013 (**Figura 28**), com o maior deles ocorrendo entre 2012 e 2013. Após isso, é visto estabilização na queda de galhos e ramos na transição. Através do teste de Mann-Kendall é visto que as séries completas de galhos e ramos apresentam tendências significativas negativas em todos os tipos fisiográficos (**Tabela 19**). A tendência de diminuição da produção de galhos e ramos, principalmente na transição, pode ser um reflexo do amadurecimento das florestas nestas áreas conforme o tempo, pois nos estágios iniciais de desenvolvimento, é possível que a queda de galhos seja uma condição natural de desbaste das partes menos eficientes da planta à medida que o indivíduo cresce e sofre auto sombreamento, como observado por Chaves (2007).

Jimenez e Lugo (1985) e Fromard *et. al* (1998) mostram que conforme as florestas de mangue amadurecem do estágio pioneiro para estágio senescente há diminuição da densidade de troncos, principalmente na passagem do estágio pioneiro para jovem, entre 5 e 15 anos. De acordo com Souza (2021), a partir de estudos de dendrocronologia de *R. mangle*. há diferenças das idades dos indivíduos nos tipos fisiográficos de Guaratiba. A autora indica que nas florestas de bacia a média de idade é de 11 ± 6 anos, enquanto nas florestas de franja a média de idade é de 45 ± 7 anos. As florestas de transição apresentam indivíduos mais jovens, com cerca de 7 ± 2 anos. Segundo análise dos dados apresentados por Fromard *et. al* (1998), as florestas de franja de Guaratiba estão na idade em que se inicia o estágio de floresta madura, enquanto as florestas de bacia e transição estão entre os estágios pioneiro e de desenvolvimento.

Tendo essas informações em vista, olhando para a produção de galhos e ramos não é possível utilizar as produções dos tipos fisiográficos de Guaratiba (**Figura 21**) como indício de maturidade e diferenciação das fisionomias. De acordo com Fernandes e Scaramuzza (2007) e Moura *et. al* (2016), comparações entre estudos dessa fração são dificultadas por não haver uma padronização quanto às dimensões, como ocorre para as folhas. Pinto *et. al* (2008) atrelam a presença de ramos na serapilheira a eventos bióticos e abióticos anteriores à sua queda. Eventos bióticos, como praga de herbívoros, levam a respostas postergadas por um período maior de tempo, enquanto os eventos abióticos geram respostas imediatas à causa. As altas produções de galhos e ramos entre 2009 e 2013 (**Figura 21**) se encaixam nos eventos

bióticos descritos por Pinto *et. al* (2008). A formação de extensas clareiras decorrentes da praga de lagartas assolou os manguezais de Guaratiba entre 2009 e 2010, conforme relatado no item 4.3.1, contribuindo para a alta presença deste compartimento na serapilheira no período de 2010 a 2013.

Figura 28 – Produção média diária ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) de galhos e ramos e componente tendência obtida pela decomposição clássica aditiva dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

A produção de flores, observando a componente tendência, apresenta aumento em todos os tipos fisiográfico do início ao final das séries e ocorre com variações de picos de altas e baixas produções (**Figura 29**). As menores produções ocorrem entre 2009 e 2011, com picos de baixas produções em 2011, 2013, 2014, 2016, enquanto picos expressivos de altas produções nos registrados nos anos 2012, 2015 e 2017 em todos os tipos fisiográficos. Através do teste de Mann-Kendall é visto que as séries completas de flores apresentam tendência significativa positiva na bacia ($Z= 4,7767$ e $p < 0,001$) e transição ($Z= 4,672$ e $p < 0,001$) do manguezal de Guaratiba (**Tabela 19**).

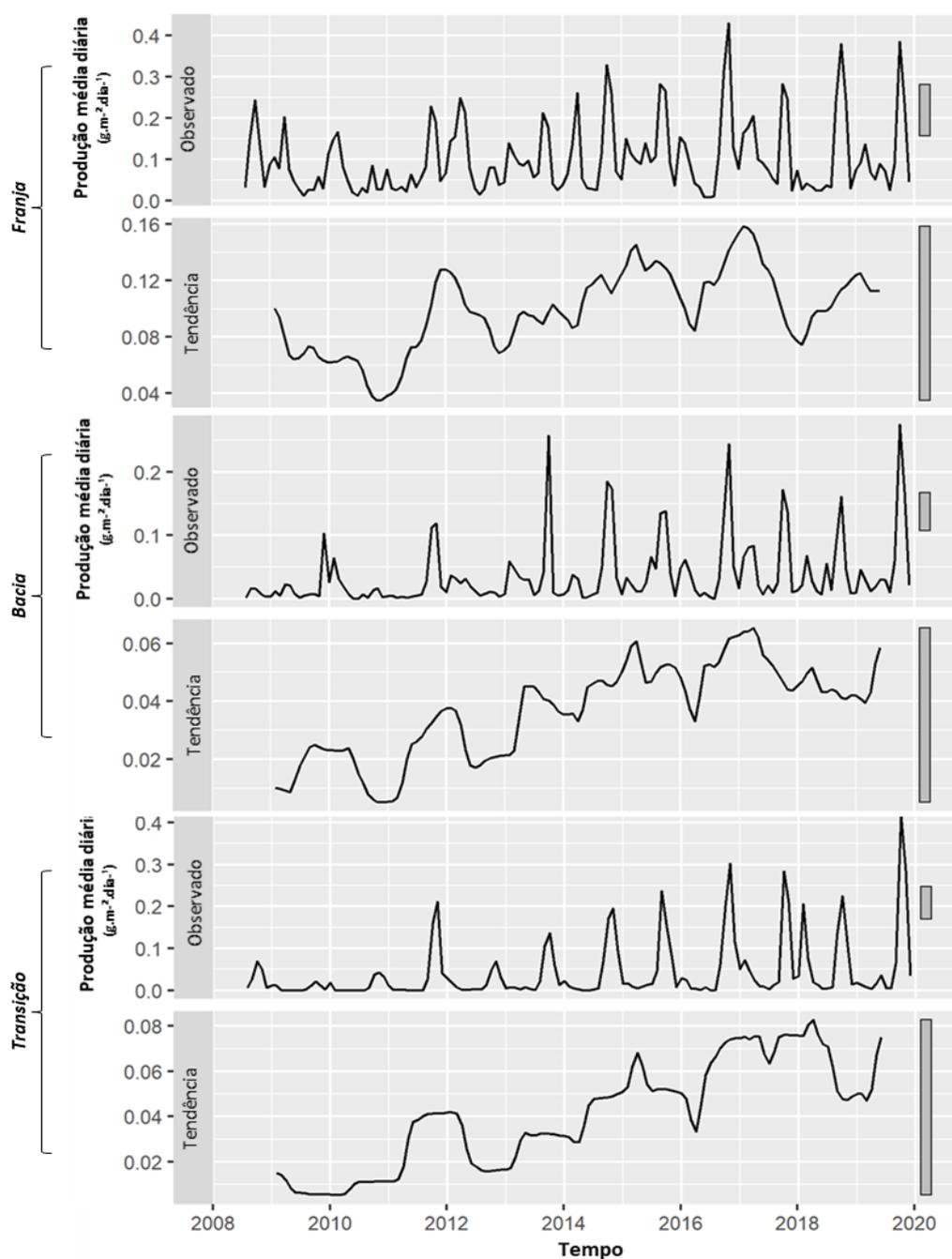
A produção de propágulos, observando a componente tendência, apresenta picos de altas produções que aumentam de intensidade ao longo do tempo em todos os tipos fisiográficos (**Figura 30**). Na franja os picos de altas produções ocorrem ente 2009/2010, 2012/2013, 2016 e 2017/2018, sendo o último de maior intensidade, de acordo com a componente tendência. Nas florestas de bacia e transição, a componente tendência também indicam picos de altas produções, com destaque para 2012/2013 e 2017/2018. Através do teste de Mann-Kendall (**Tabela 19**) é visto que as séries completas de propágulos não apresentam tendências significativas na franja ($Z= -0,9025$ e $p=0,3668$) e bacia ($Z= 1,17107$ e $p=0,08713$) do manguezal de Guaratiba. Entretanto, os resultados da transição mostram que há tendência significativa positiva da série de propágulos ($Z=4,239$ e $p < 0,001$)

De acordo com Duke (1990), o aparecimento de flores e frutos, é uma das fenofases ao longo do ciclo fenológico das espécies de mangue e estas estruturas reprodutivas são desenvolvidos de acordo com características ambientais locais (FERNANDES, 1997). O aumento desta parte reprodutiva na serapilheira em Guaratiba pode estar relacionado ao amadurecimento da floresta, condições favoráveis para as espécies, além de mudanças climáticas. A reprodução e o crescimento vegetativo das plantas podem além de ser influenciados pela sazonalidade anual, variar por influência de fatores climáticos que exercem mudanças nos padrões fenológicos em comunidades vegetais (BENEVIDES; MAIA; DA SILVA, 2021; DE ALVARENGA; BOTOSSO; SOFFIATTI, 2017; RICHARDSON et al., 2013; SONGSOM et al., 2019; TANG et al., 2015; WOODROFFE, 1982).

Observando a **Figura 29** é visto que o aumento de flores ocorreu logo após o evento de herbívora relatado para Guaratiba em todos os tipos fisiográficos. Com aumento no ano de ápice da desfolhação severa (2011), que posteriormente atingiu valores mais elevados ao longo da série, indicando a produção de flores como um dos reflexos de recuperação da floresta frente a eventos de desfolhação severa. E os resultados de tendência positiva da

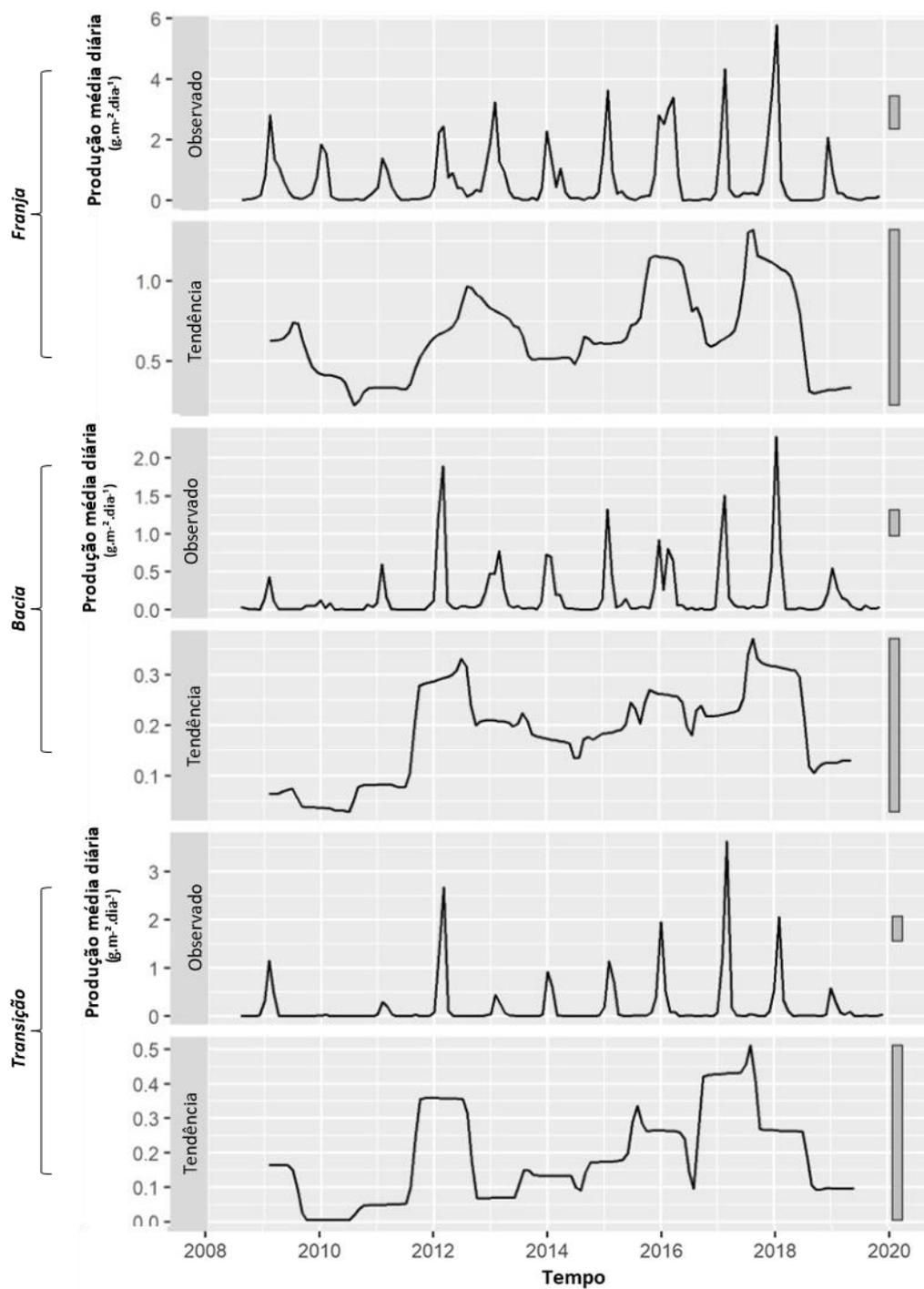
produção de propágulos na transição pode estar relacionado ao amadurecimento da floresta ao longo do tempo, além dos picos de altas produções de 2012/2013 em todos tipos fisiográficos ser um possível reflexo de recuperação da floresta frente a praga de lagartas ocorrido entre 2009/2010.

Figura 29 – Produção média diária ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) de flores e componente tendência obtida pela decomposição clássica aditiva dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 30 – Produção média diária ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) de propágulos e componente tendência obtida pela decomposição clássica aditiva dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

A partir da componente tendência é visto que a produção de estípulas apresenta comportamentos distintos entre os tipos fisiográficos. Na franja apresenta tendência de queda de 2009 a 2011, posteriormente apresenta picos de altas produções em 2015 e 2017, e não apresenta grandes variações entre 2018 e 2019. Através do teste de Mann-Kendall não é visto

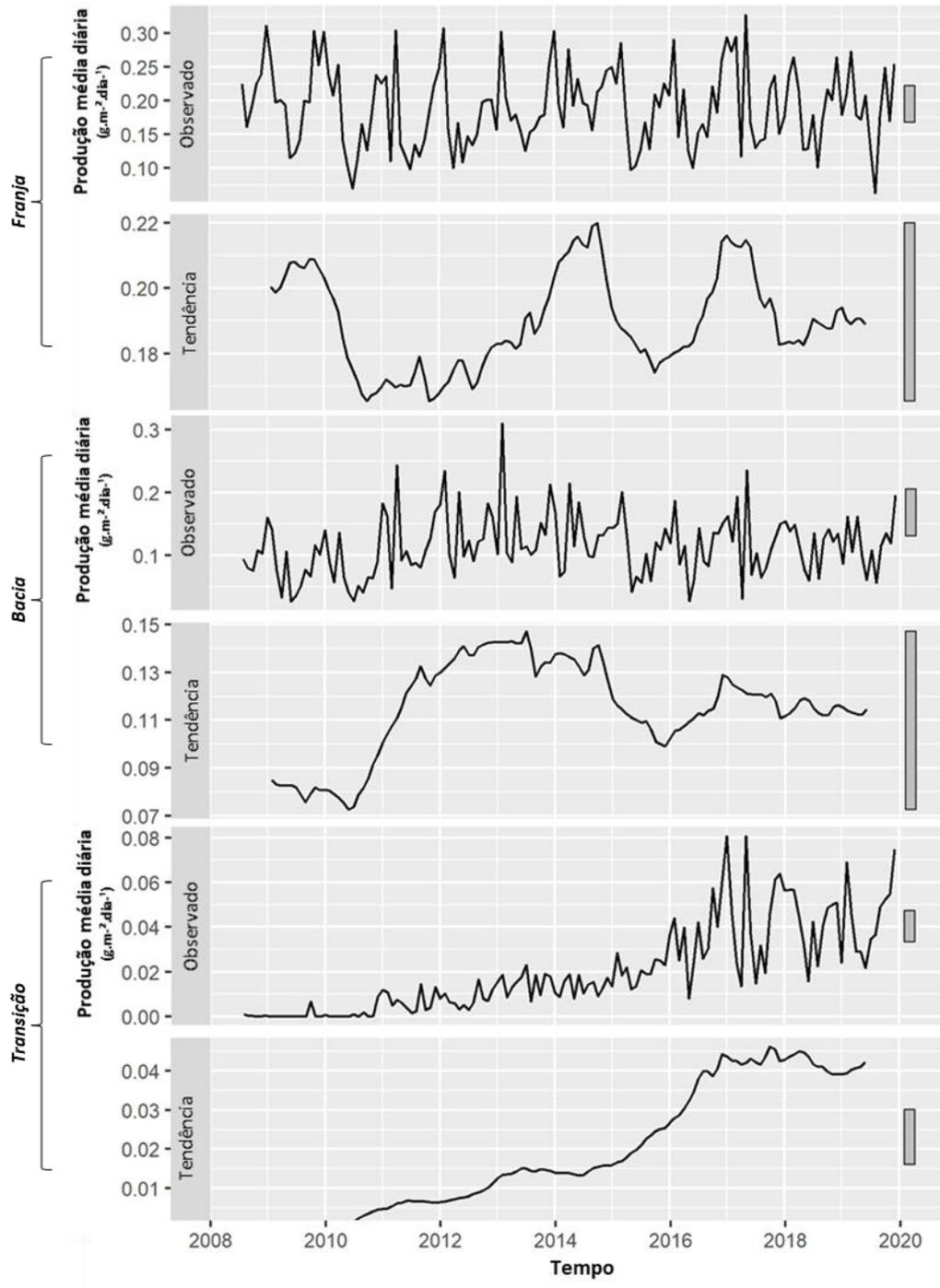
tendência significativa da produção de estípulas na franja (**Tabela 19**). Na bacia, a produção de estípulas apresenta menores valores nos anos 2009 e 2010, com tendência de aumento da produção a partir de 2011 que se mantém elevada até 2015. Em 2016 apresenta leve declínio com posterior estabilização até o ano de 2019. Através do teste de Mann-Kendall é visto tendência significativa positiva da produção de estípulas na bacia ($Z= 2,3986$ e $p < 0,001$). A transição da floresta apresenta longa tendência de aumento da produção de estípulas, que atinge valores elevados a partir de 2016 e mantém determinada constância até o final da série, com tendência significativa positiva através do teste de Mann-Kendall (**Tabela 19**).

As estípulas são estruturas em escamas que participam da proteção das folhas em desenvolvimento embrionário (BORGES, 2010). Estudos relatam estípulas como bioindicadoras de produção de folhas (BORGES, 2010; CUNHA; TOGNELLA-DE-ROSA; COSTA, 2006; GARCÍA-HANSEN et al., 2002; NASCIMENTO et al., 2006), logo a produção de estípulas é afetada pelo baixo desenvolvimento de folhas (CUNHA; TOGNELLA-DE-ROSA; COSTA, 2006; DUKE; BUNT; WILLIAMS, 1984). De acordo com Gill e Tomlinsom (1971) em Rhizophoracea o número de novas folhas produzidas pode ser estimado pelo número de estípulas nas amostras, uma vez que duas estípulas são perdidas para cada novo par de folhas produzidas

O estrutura do manguezal também pode influenciar no aporte de estípulas, pois, árvores de maior desenvolvimento produzem maior biomassa de estípulas quando comparado às árvores de menor desenvolvimento (FARIAS; FERNANDES; REIS, 2006; FLORES-VERDUGO; DAY JW; BRISENO-DUENAS, 1987; WOODROFFE et al., 1988). Assim, o aumento da produção de estípulas ao longo dos anos na serapilheira em Guaratiba pode estar relacionado ao amadurecimento da floresta nos tipos fisiográficos bacia e transição, acarretando em maior produção de folhas, além de possível aumento da presença de *R. mangle* nestas zonas da floresta.

Porém, quando consideramos o evento da praga, estes resultados se mostram como reflexo da desfolhação severa ocorrida no manguezal. A franja da floresta foi a área menos afetada pela praga conforme relatado no item **4.3.1 Produção de folhas em florestas de mangue e eventos**, portanto não sofrendo alterações ao longo do tempo resultando em tendência significativas. Enquanto na bacia e transição, áreas mais afetadas pela praga, apresentam tendência de aumento da produção de estípulas como reflexo da praga associada à recuperação das florestas, devido a produção de novas folhas.

Figura 31 – Produção média diária ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) de estímulas e componente tendência obtida pela decomposição clássica aditiva dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

Tabela 19 – Teste de Mann-Kendall aplicado para a produção média diária de galhos e ramos, propágulos, flores e estípulas dos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba – RJ de agosto/2008 a dezembro/2019.

Tipo fisiográfico	Compartimento	Z	p-valor	S (tendência)
Franja	<i>Galhos e ramos</i>	-5,1749	<0,001	S-
	<i>Propágulos</i>	-0,9025	0,3668	NS
	<i>Flores</i>	1,7175	0,08588	NS
	<i>Estípulas</i>	0,25493	0,7988	NS
Bacia	<i>Galhos e ramos</i>	-2,2683	0,02331	S-
	<i>Propágulos</i>	1,7107	0,08713	NS
	<i>Flores</i>	4,7767	<0,001	S+
	<i>Estípulas</i>	2,3986	0,01646	S+
Transição	<i>Galhos e ramos</i>	-3,7198	<0,001	S-
	<i>Propágulos</i>	4,239	<0,001	S+
	<i>Flores</i>	4,672	<0,001	S+
	<i>Estípulas</i>	12,496	<0,001	S+

Legenda: NS: Tendência não significativa; S-: Tendência significativa negativa; S+: Tendência significativa positiva.

Buscando entender a ocorrência de ciclos e sazonalidade na produção de serapilheira de Guaratiba, na **Figura 32**, **Figura 33** e

Figura 34 são exibidos os resultados da aplicação da análise de transformada de Ondaleta para a produção total de serapilheira em cada tipo fisiográfico do manguezal. Nos gráficos superiores (a) são exibidos os escalograma do espectro de potência de ondaleta ao longo do tempo e nos gráficos inferiores (b) o espectro global médio desse intervalo.

Ao observarmos a evolução dos dados através da análise de ondaleta utilizando como base da transformada a função de Morlet, notamos que a produção de serapilheira nas florestas de franja (**Figura 32**) e bacia (**Figura 33**) apresentam os maiores valores no espectro de potência para o período de Fourier de 12 meses dentro do intervalo de significância, e durante toda a série temporal. Já as florestas de transição apresentam picos intensos no período de 12 meses somente entre início de 2016 e final de 2018 (

Figura 34).

Os picos registrados entre 12 meses (1 ano), indicam variabilidade sazonal da produção de serapilheira nestas áreas da floresta. Além dos picos de 12 meses, nas florestas de franja entre janeiro de 2014 a julho de 2015 e julho a dezembro de 2017 são registrados valores elevados no espectro de potência para o período de Fourier entre 5 e 6 meses de acordo com o escalograma (**Figura 32A**). Nas florestas de bacia picos de potência entre 5 e 6 meses também são registrados, ocorrendo entre maio e novembro de 2014; fevereiro e maio de 2016; e julho de 2017 e maio de 2018 (**Figura 33A**). Ocorrência de pico de potência para o período de Fourier entre 4 e 5 meses também é registrada de janeiro a junho de 2012 nas florestas de bacia (**Figura 33A**).

As florestas de transição apresentam resultados que as tornam distintas dos demais tipos fisiográficos. Além do pico de potência no período de Fourier de 12 meses no final da série, o espectro global de potência para produção de serapilheira na transição (

Figura 34B), mostram resultados significativo para o período de Fourier entre 6 e 8 meses, que de acordo com o escalograma (

Figura 34B) ocorrem em dois períodos: o primeiro do início da série temporal até aproximadamente julho de 2010; e o segundo, num período curto, entre maio e agosto de 2012, aproximadamente. O escalograma também apresenta picos de potência entre 2 e 4 meses em agosto de 2009 e 2018.

Comparando os tipos fisiográficos, observamos mais uma vez a influência da zonation e rigor ambiental na produção de serapilheira. A partir da análise de transformada de Ondaleta é visto que as florestas de transição, localizadas em zona de maior rigor ambiental conforme relatado no item **4.1.2 Produção de serapilheira relacionada ao gradiente de inundação pelas marés**, não apresentam ciclo sazonal (período de Fourier de 12 meses) em toda a série temporal conforme visto para as florestas de franja e bacia, sendo este ciclo visto somente no final da série temporal. Além disso, esta área da floresta apresenta ciclos de menor duração (2-4 meses) que não foram vistos nas demais áreas, o que pode indicar influência de tensores na sazonalidade da produção de serapilheira na transição. Além disso, há variação da dominância de espécies e desenvolvimento estrutural entre os tipos fisiográficos de Guaratiba, que podem estar influenciando os padrões observados.

Estevam *et. al* (2020) caracterizam Guaratiba como uma região predominantemente deficitária com baixos índices pluviométricos registrados nos meses de inverno (período seco bem marcado) e grande variabilidade nos meses de verão (período úmido variável). Sendo

este padrão possível condicionante das variações sazonais da produção de serapilheira vistas em Guaratiba, devido a serapilheira apresentar variações condicionadas por fatores climáticos (TWILLEY; LUGO; PATTERSON-ZUCCA, 1986; VIDAL et al., 2007), principalmente temperatura do ar, precipitação ventos e balanço hídrico (FERREIRA et al., 2014; MACHADO, 2014; MUROVHI; MATERECHERA; MULUGETA, 2012).

Os manguezais estão sob a influência de diversos fatores ambientais que possuem variação de intensidade e periodicidade conforme a zonation da floresta (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Grande amplitude de maré, amplo input de água doce e precipitação são condições favoráveis ao desenvolvimento das florestas de mangue, enquanto a hipersalinidade e déficit hídrico são estressores (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990). Em Guaratiba as espécies de mangue têm distribuições diferentes ao longo do gradiente de salinidade. *A. schaueriana* e *L. racemosa* são encontradas em amplas faixas de salinidade do solo, enquanto *R. mangle* é restrito a níveis mais baixos de salinidade (SOARES et al., 2017). Essas florestas também apresentam desenvolvimento estrutural decrescente em direção à planície hipersalina (ESTRADA et al., 2013), indicando que os ciclos sazonais (12 meses) nas áreas de franja e bacia além de serem ditados pela climatologia local, podem estar relacionados ao menor rigor ambiental e maior desenvolvimento estrutural, e que o aparecimento deste ciclo de forma tardia na transição seria resposta a mudança da floresta ao longo do tempo, que se tornou mais desenvolvida, além de estudos relatarem migração das florestas de mangue em Guaratiba migrando em direção ao continente (ESTEVAM, 2013, 2019; SOARES et al., 2005; SOARES, 2009; SOUZA, 2021).

Soares *et al.* (2005) descreveram migração das florestas de mangue de Guaratiba em direção ao continente. O processo de migração também foi corroborado por meio de monitoramento do processo de colonização das planícies hipersalinas pelas espécies de mangue (ESTEVAM, 2013, 2019). De acordo com Soares (2009), embora a planície hipersalina seja localizada na região entremarés, possui características físico-químicas desfavoráveis para o desenvolvimento de espécies de mangue, demonstrando que a colonização destas áreas por manguezais é uma forte indicação de que essas condições mudaram, sendo resultado do aumento do nível médio relativo do mar. Essas mudanças podem ter condicionado o aparecimento do ciclo sazonal tardio nas florestas de transição devido à diminuição de tensores ambientais nesta região.

Em um estudo com análise de ondas aplicada à identificação da variabilidade climática na região do manguezal de Guariba realizado por Estevam *et. al* (2020) com dados mensais num período de 31 anos (1985 – 2016), foram analisadas séries temporais de precipitação,

temperatura, evapotranspiração, armazenamento de água do solo, excesso de água, déficit hídrico e balanço hídrico através da transformação de ondas, para identificar as frequências (ciclos) e a temporalidade dos picos espectrais dominantes. A mesma análise foi realizada para alguns índices climáticos, como o Índice Multivariado ENOS, Índice de Oscilação do Sul e El Niño.

De acordo com Estevam *et. al* (2020) foram identificados ciclos sazonais de 12 meses para todos os parâmetros, e o índice Multivariado ENOS. Todos os índices da NOAA revelam picos em ciclos de 3,5-3,7 anos, assim também como a precipitação, temperatura e evapotranspiração. Os picos em períodos maiores de tempo também foram identificados pelos autores. Quando relacionamos os resultados de Estevam *et. al* (2020) com as análises de ondaleta da produção de serapilheira em Guaratiba verificamos que os ciclos sazonais de 12 meses são correspondentes nas duas análises. Ciclos de maiores períodos como relatados por Estevam *et. al* (2020) não foram encontrados para a produção de serapilheira, o que pode ter influência de uma série temporal curta no presente estudo (12 anos) impossibilitando a visualização de outros ciclos pela análise, quando comparada a Estevam *et. al* (2020) (31 anos), destacando a importância de monitoramentos de longo prazo para entender possíveis influências de índices climáticos globais em dados ecológicos.

Essas variações (sazonais, interanuais e cíclicas) estão ligadas, direta ou indiretamente, à hidrologia que a floresta está submetida, disponibilidade de nutrientes, salinidade do sedimento (LUGO; BROWN; BRINSON, 1988), precipitação (FLORES-VERDUGO; DAY JW; BRISENO-DUENAS, 1987), radiação solar (MEHLIG, 2006) e fluxo fluvial (DAY et al., 1987) conforme discutido. De acordo com Jennerjahn (2017) a elevação do nível do mar, aquecimento das águas oceânicas e da atmosfera também influenciam a produção de serapilheira. Altas produções de serapilheira também estão correlacionadas com meses típicos de tempestades e tufões em alguns lugares como Japão (SHARMA et al., 2012; SURYO HARDIWINOTO; NAKASUGA; IGARASHI, 1989) e Austrália (MACKEY; SMAIL, 1995). Com isso, no estudo da variação da produção de serapilheira é importante verificar suas relações com fatores bióticos relacionados à climatologia da região.

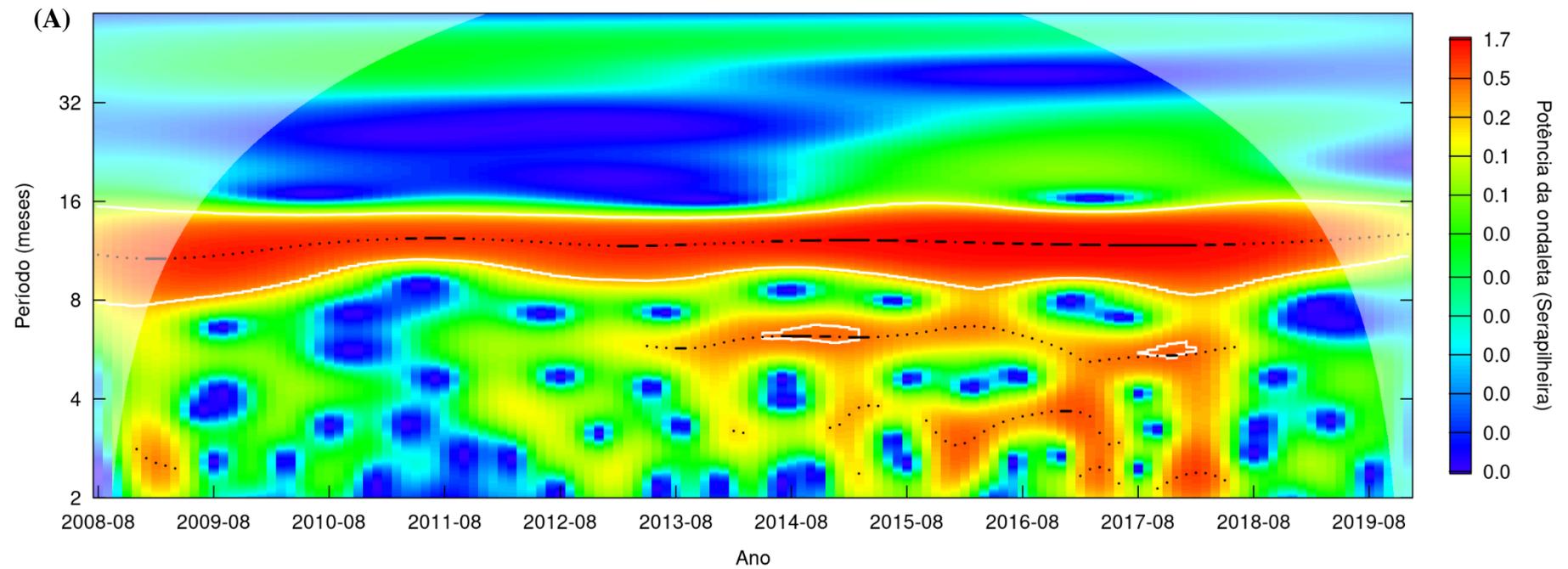
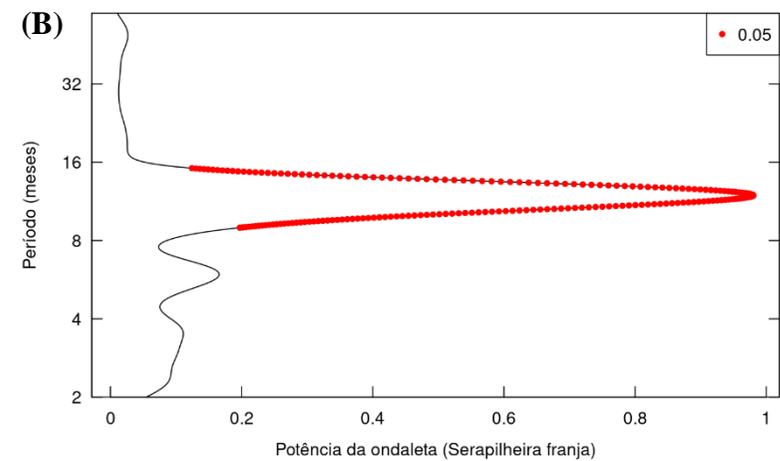


Figura 32 – (A) Escalograma - Espectro de potência de ondaleta de serapilheira na franja de Guaratiba. O contorno branco no escalograma cerca regiões com nível de significância de 5%, a linha preta indica o máximo de significância. (B) Espectro global de potência para produção de serapilheira na franja. Os pontos vermelhos no gráfico global indicam o valor médio em cada período com nível de significância de 95%.



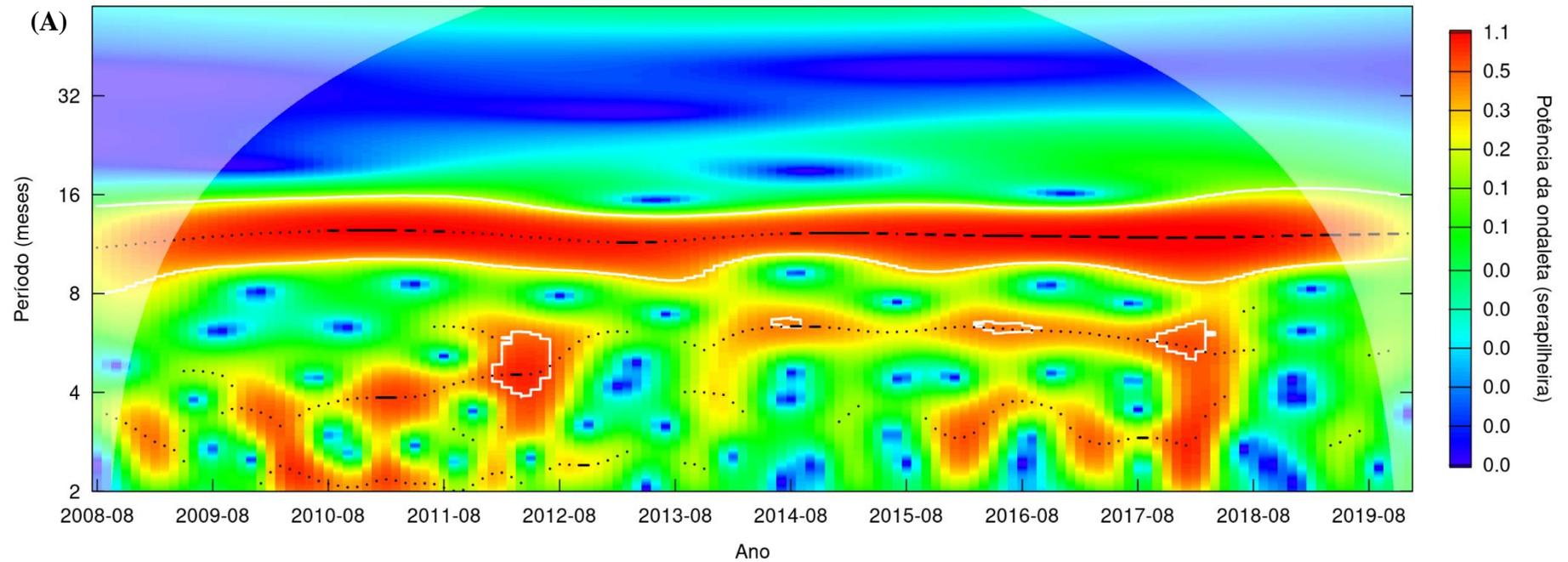
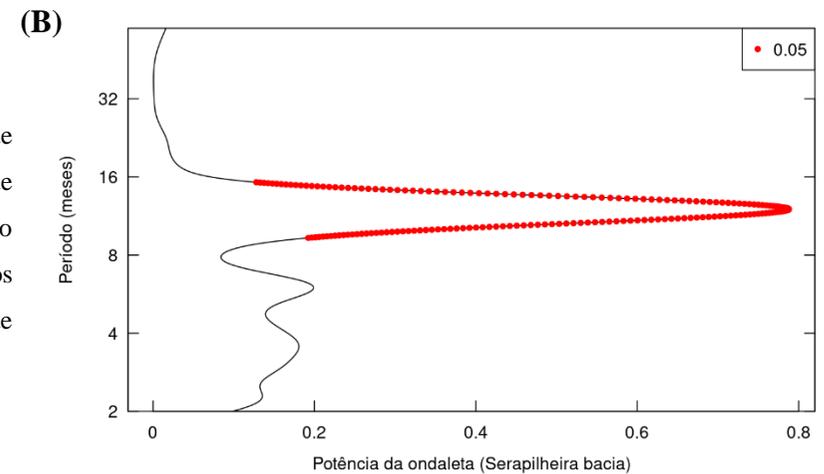


Figura 33 – (A) Escalograma - Espectro de potência de ondaleta de serapilheira na bacia de Guaratiba. O contorno branco no escalograma cerca regiões com nível de significância de 5%, a linha preta indica o máximo de significância. (B) Espectro global de potência para produção de serapilheira na bacia. Os pontos vermelhos no gráfico global indicam o valor médio em cada período com nível de significância de 95%.



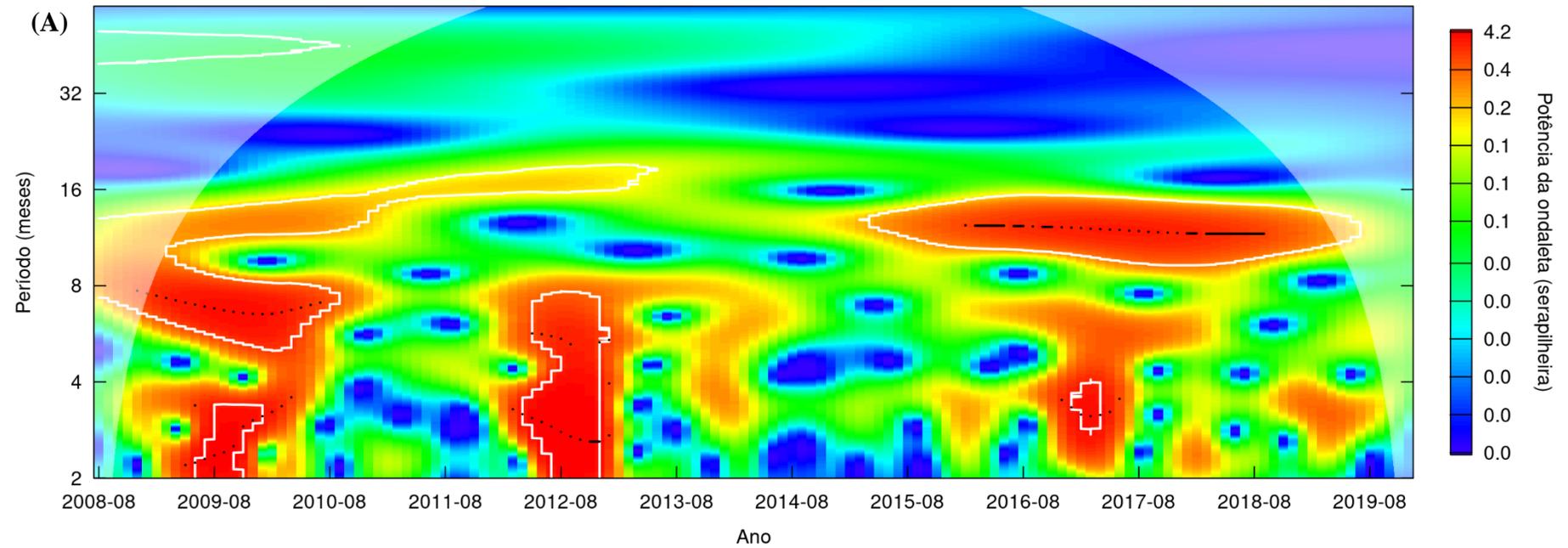
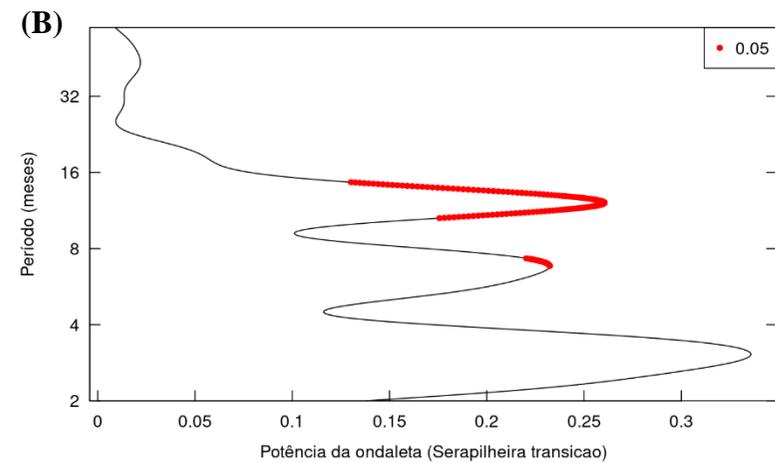


Figura 34 – (A) Escalograma - Espectro de potência de ondaleta de serapilheira na transição de Guaratiba. O contorno branco no escalograma cerca regiões com nível de significância de 5%, a linha preta indica o máximo de significância. (B) Espectro global de potência para produção de serapilheira na transição. Os pontos vermelhos no gráfico global indicam o valor médio em cada período com nível de significância de 95%.



4.3 Produção de Serapilheira no Manguezal de Guaratiba e Fatores Bióticos Associados

4.3.1 Produção de folhas em florestas de mangue e eventos de praga de herbívoros

Buscando entender como o evento de herbivoria severa (praga) nos anos de 2009 e 2010 afetou o manguezal de Guaratiba a partir da produção de serapilheira, nesta seção este fator será analisado a partir das séries temporais da produção de folhas das espécies presentes no manguezal de Guaratiba. Na **Figura 35** é apresentada a contribuição relativa por espécie para a produção de folhas pelos diferentes tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba a partir da produção média anual. Posteriormente são apresentadas as componentes obtidas a partir da decomposição clássica pelo modelo aditivo das séries temporais de produção de folhas para cada tipo fisiográfico e espécie como forma de descrever o comportamento temporal deste compartimento.

Observando a variação de folhas nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba durante os 11 anos (**Figura 35**), na franja é visto que a produção máxima é registrada no ano de 2016 com $8,34 \pm 1,26 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a produção mínima ocorreu em 2011 com $5,42 \pm 1,00 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. No geral, as maiores produções anuais de folhas na franja foram registradas entre 2009 -2010 e 2016 -2019. Na floresta de bacia a produção mínima de folhas também foi registrada no ano de 2011, com $3,92 \pm 0,08 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a máxima em 2019 com $7,28 \pm 0,09 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. No tipo fisiográfico transição a produção mínima de folhas também foi registrada em 2011, com $1,86 \pm 0,67 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e a produção máxima ocorreu como na bacia, em 2019 com $8,98 \pm 1,71 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

A produção média anual de folhas apresenta comportamento parecido em todos os tipos fisiográficos, com redução da produção a partir de 2009 e mínima em 2011, que, ocasionada pela redução da contribuição de *A. schauerianna*, é importante indício do impacto da herbivoria no manguezal de Guaratiba, pois a exemplo do relatado para outros manguezais (ANDERSON; LEE, 1995; ELSTER et al., 1999; MENEZES; MEHLIG, 2005; MENEZES; PEIXOTO, 2009; SATHISH et al., 2021) a praga de lagartas, nessa região, foi caracterizada por uma incidência preferencial de herbivoria sobre *Avicennia schaueriana* (ESTRADA, 2013). Logo após o período agudo de herbivoria, é observado aumento da contribuição de folhas na serapilheira até o ano de 2013, com pequena diminuição na franja e bacia e leve

aumento na transição até 2015, este período é indício de um processo de recuperação da floresta, visível no aumento da contribuição de folhas de *A. schauerianna* e no aumento da produção total de serapilheira. Em 2016 a franja apresenta pico da produção de folhas e estabilização entre 2017 e 2019. A bacia e transição apresentam aumento da produção de folhas a partir de 2016, sendo que em 2019 a transição apresenta a maior produção de folhas dentre todos os tipos fisiográficos, caracterizando 2019 como o ano de maior produção de folhas na transição. A estabilização da produção de serapilheira em patamares elevados no período final do monitoramento indica a recuperação da floresta em relação aos efeitos da praga de lagartas.

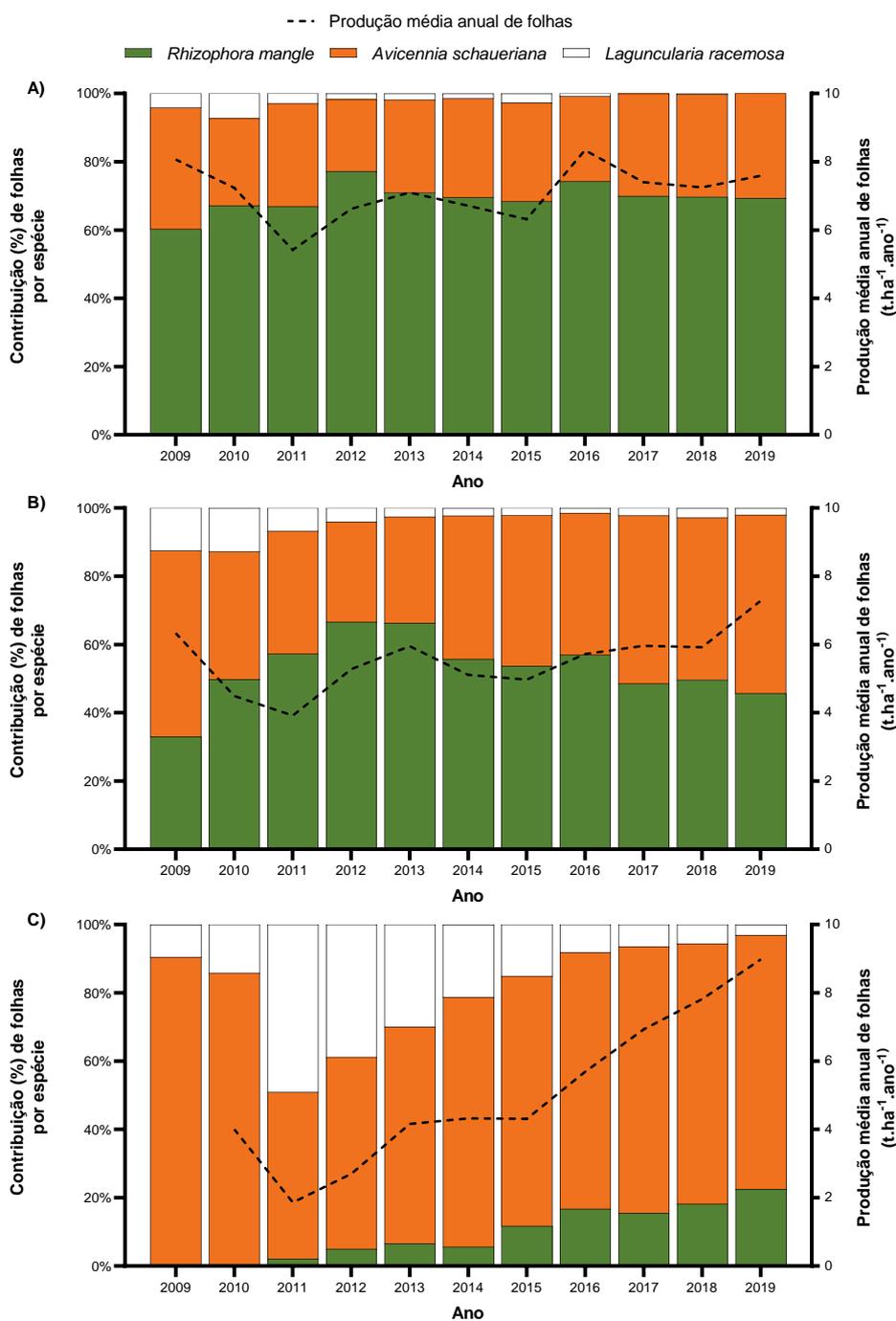
A contribuição de espécies para a produção de folhas na franja apresenta-se estável durante toda a série com maior contribuição de folhas de *R. mangle*. A contribuição de folhas de *L. racemosa* não é vista depois do ano de 2016 na franja. Na floresta de bacia a contribuição de folhas de *R. mangle* aumenta a partir de 2009 e se estabiliza entre 2012 e 2013, enquanto folhas de *A. schaueriana* e *L. racemosa* diminuem. Entre 2013 e 2019 é observada diminuição de folhas de *R. mangle* e aumento de *A. schaueriana* na bacia e *L. racemosos* é presente, porém com baixas contribuições. Esses comportamentos, juntamente com o fato da contribuição de folhas de *R. mangle*, espécie não afetada pela praga de lagartas, apresentar comportamento inversamente proporcional ao da produção total de folhas, refletem o efeito da praga no período inicial e posterior recuperação da floresta no período final do estudo.

A transição apresenta maiores contribuições por parte de *L. racemosa* dentre os tipos fisiográficos, especialmente durante a queda de produção de folhas registrada entre 2009 e 2011. *A. schaueriana* apresenta grande diminuição da contribuição neste mesmo período, como reflexo da herbivoria seletiva durante a praga. A partir de 2011 a contribuição por parte de *A. schaueriana* volta a subir, juntamente com a contribuição de folhas de *R. mangle*, que não eram vistas antes de 2011. A contribuição por parte de *L. racemosa* diminui a partir de 2011 até o final da série. Na transição além do efeito da praga no início da série, há ainda um efeito do amadurecimento da floresta neste tipo fisiográfico, que é visível no aumento contínuo da produção total, mesmo depois que as contribuições de espécies se estabilizam após recuperação da praga a partir de 2016.

Os resultados apresentados na **(Figura 35)** também indicam possível influência da praga no processo de sucessão das espécies em Guaratiba, ocorrendo substituição progressiva de *A. schaueriana* e *L. racemosa* por *R. mangle*, como efeito da migração da floresta em direção à planície hipersalina, como resposta à elevação do nível médio do mar (ESTRADA

et al., 2013; SOARES et al., 2005; SOARES, 2009). Os efeitos da praga, como diminuição da produção de folhas na serapilheira, desfolhação severa, sucessão de espécies e recuperação da espécie afetada são discutidos de forma detalhada a seguir a partir de análises estatísticas.

Figura 35 – Contribuição relativa de folhas por espécie na serapilheira (eixo y esquerdo e barras) e produção média anual de folhas na serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) (eixo y direito e linha tracejada) dos tipos fisiográficos (A-Franja, B - Bacia e C - Transição) do manguezal de Guaratiba – RJ de 2009 a 2019.



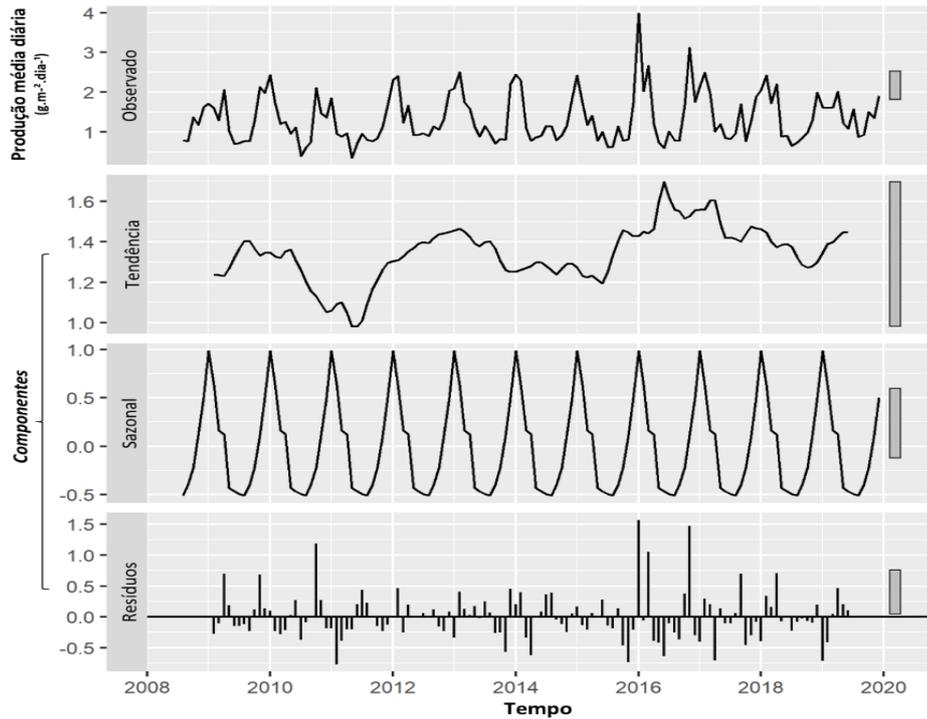
Fonte: O autor, 2022.

Da **Figura 36** a **Figura 44** são apresentadas as componentes obtidas a partir da decomposição clássica das séries temporais de produção de folhas para cada tipo fisiográfico e espécie.

Observando separadamente as componentes sazonalidade, tendência e os resíduos da floresta de franja (**Figura 36**, **Figura 37** e **Figura 38**), observa-se nos terceiros gráficos (sazonal) que todas as espécies apresentam comportamento sazonal da produção de folhas com picos de alta da componente sazonal, ocorrendo entre o final da primavera e o início do verão e os de baixa ocorrendo no inverno. Entretanto, a produção de folhas de *L. racemosa* apresenta dois picos sazonais entre o outono e inverno. A partir da componente tendência é visto que a produção de folhas de *R. mangle* apresenta aumento até metade de 2009 e posterior queda até 2011. Entre 2011 e 2019 a produção de folhas de *R. mangle* apresenta flutuações com tendências de altas e baixas que duram entre 1,5 e 2 anos. Através do teste de Mann-Kendall (**Tabela 20**) é visto que a série completa não apresenta tendência significativa. A produção de folhas de *A. schaueriana* apresentou tendência de queda do início da série até o ano de 2010, apresentando aumento até 2011 e posterior queda até o ano de 2012. Logo após, até o final da série, essa espécie apresenta tendência de aumento que ocorre em flutuações de aproximadamente 1 ano de alternância da componente tendência, porém através do teste de Mann-Kendall é visto que a série completa não apresenta tendência significativa. A produção de folhas de *L. racemosa* apresentou, para a franja, longa tendência de queda do início até o final da série, que pode ser confirmado pelo resultado do teste de Mann-Kendall ($p < 0,001$) aplicado à série completa. Os resíduos comportaram-se de forma aleatória para todas as espécies na franja, não apresentando períodos acima de 1 ano com valores maiores ou menores que zero.

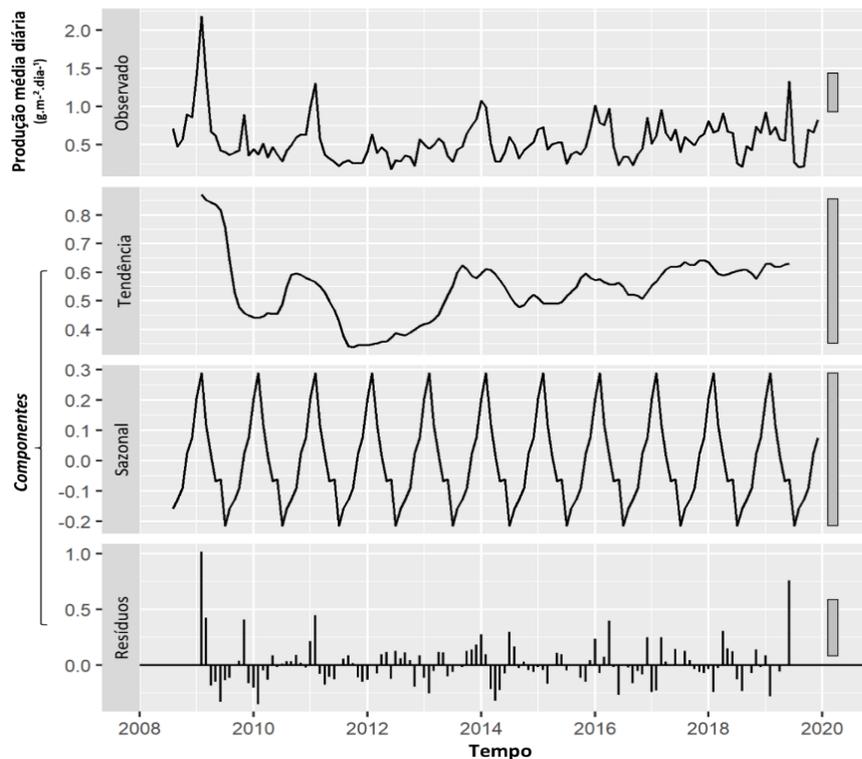
Os resultados não significativos de Mann-Kendall para *R. mangle* e *A. schaueriana* (**Tabela 20**) são respostas dos processos distintos que predominam em cada período da série temporal, tais como o efeito da praga e o processo de recuperação, além da franja ser uma floresta madura. Como mencionado anteriormente, a contribuição de espécies para a produção de folhas na franja apresenta-se estável durante toda a série, mostrando que esta região é aquela que sofreu menor impacto da praga. A diminuição de *L. racemosa* na franja estaria relacionada ao amadurecimento da floresta e ao processo de sucessão das espécies.

Figura 36 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *R. mangle* na franja no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



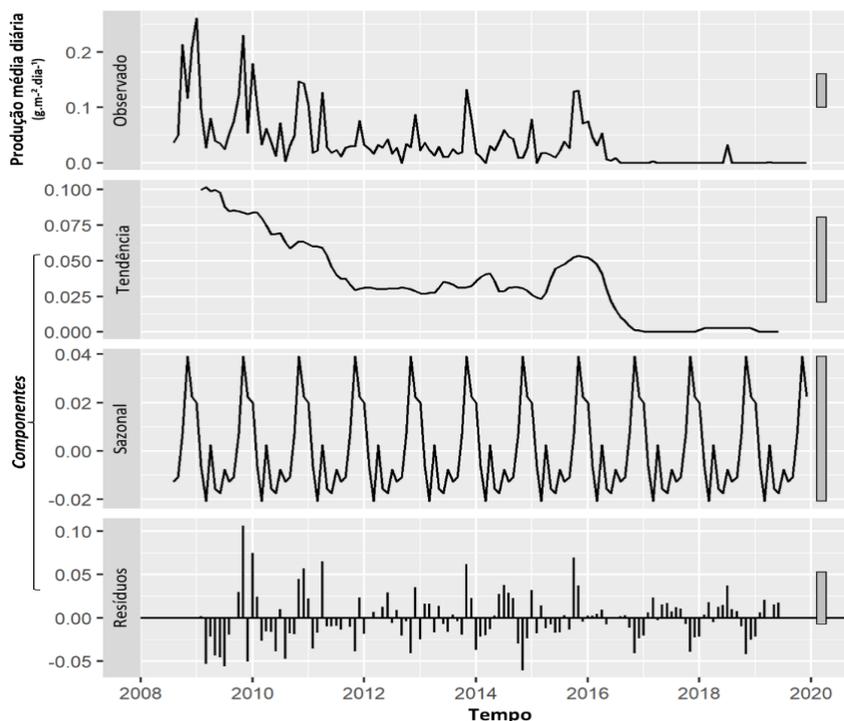
Fonte: O autor, 2022.

Figura 37 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *A. schaueriana* na franja no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 38 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *L. racemosa* na franja no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

Analisando as componentes sazonalidade, tendência e os resíduos da presença de folhas na serapilheira das diferentes espécies nas florestas de bacia (**Figura 39**, **Figura 40** e **Figura 41**), observa-se que todas as espécies apresentam comportamento sazonal da produção de folhas como relatado para a franja. A partir da componente tendência é visto que a produção de folhas de *R. mangle* apresenta tendência de aumento até metade de 2010 e posterior queda até metade de 2011. Entre 2011 e metade de 2013 a produção de folhas de *R. mangle* apresenta seu máximo, seguido de queda até metade de 2014 e se estabiliza até o final da série. Através do teste de Mann-Kendall (**Tabela 20**) é visto que a série completa apresenta tendência significativa positiva ($p=0,0133$). A produção de folhas de *A. schaueriana* apresentou tendência de queda do início da série até o ano de 2012 e, logo após, até o final da série, essa espécie apresenta aumento atingindo valores superiores ao início da série. Analisando toda a série de produção de folhas de *A. schaueriana*, através do teste de Mann-Kendall é visto que a série completa apresenta tendência significativa positiva ($p=0,0133$). *L. racemosa* apresentou para a bacia longa tendência de queda da produção de folhas de 2010 até 2015 com estabilização até o final da série, que pode ser confirmado pelo resultado do teste de Mann-Kendall ($p<0,001$) aplicado à série completa, apresentando tendência significativa

negativa. Os resíduos comportaram-se de forma aleatória, não apresentando períodos contínuos acima de 1 ano de valores maiores ou menores que zero para nenhuma das espécies.

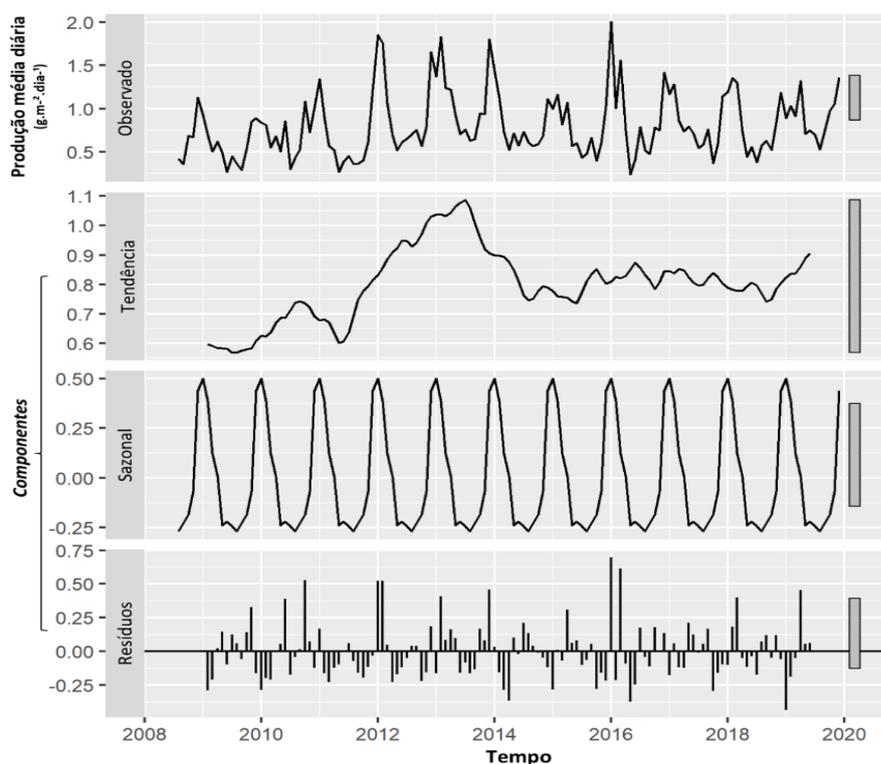
Os resultados da bacia mostram com clareza o efeito da praga e a recuperação da floresta. Além disso, há possível influência da praga no processo de sucessão das espécies em Guaratiba, através do qual há uma substituição progressiva de *A. schaueriana* e *L. racemosa* por *R. mangle*, como efeito da migração da floresta em direção à planície hipersalina, como resposta à elevação do nível médio do mar (ESTRADA et al., 2013; SOARES et al., 2005; SOARES, 2009). A componente tendência e o resultado significativo de Mann-Kendall para *R. mangle* mostram que além desta espécie aumentar sua presença na serapilheira no período de efeito da praga sobre *A. schaueriana*, manteve-se com produções elevadas comparado ao início da série, indicando maior presença desta espécie na bacia após o evento da praga. *A. schaueriana*, mesmo tendo sua produção reduzida durante a praga, apresentou tendência de aumento em toda a série, indicando que teve boa recuperação. A diminuição de *L. racemosa* na bacia estaria relacionado ao amadurecimento da floresta e processo de sucessão das espécies, assim como na franja.

O efeito do processo de sucessão é visível no aumento da contribuição de *R. mangle*, que possivelmente foi potencializado pela praga, ou seja, ocorrendo a sucessão e substituição de *A. schaueriana* por *R. mangle*. As espécies *A. schaueriana* e *L. racemosa* possuem um caráter pioneiro no manguezal às margens do rio Piracão. Soares *et al.* (2005) descreveram migração em direção ao interior das florestas de mangue de Guaratiba. Tais afirmações são resultados da análise da estrutura da vegetação nas diferentes zonas associadas ao gradiente de inundação pelas marés. O processo de migração também foi corroborado por meio de monitoramento do processo de colonização das planícies hipersalinas pelas espécies de mangue (ESTEVAM, 2013, 2019). De acordo com Soares (SOARES, 2009), embora a planície hipersalina seja localizada na região entremarés, possui características físico-químicas desfavoráveis para o desenvolvimento de espécies de mangue, demonstrando que a colonização destas áreas por manguezais é uma forte indicação de que essas condições mudaram, sendo resultado do aumento do nível médio relativo do mar.

A elevação do nível médio relativo do mar promove a erosão da floresta de franja às margens do rio Piracão, levando a floresta a se projetar em direção à planície hipersalina, influenciando a idade e a estrutura dos tipos fisiográficos (CHAVES, 2001; ESTEVAM, 2013, 2019; ESTRADA, 2013; OLIVEIRA, 2005; PELLEGRINI, 2000; SOUZA et al., 2016). De acordo com Souza (2015) em Guaratiba a presença de *R. mangle* em áreas próximas à colonização na interface com a planície hipersalina é cada vez mais consolidada,

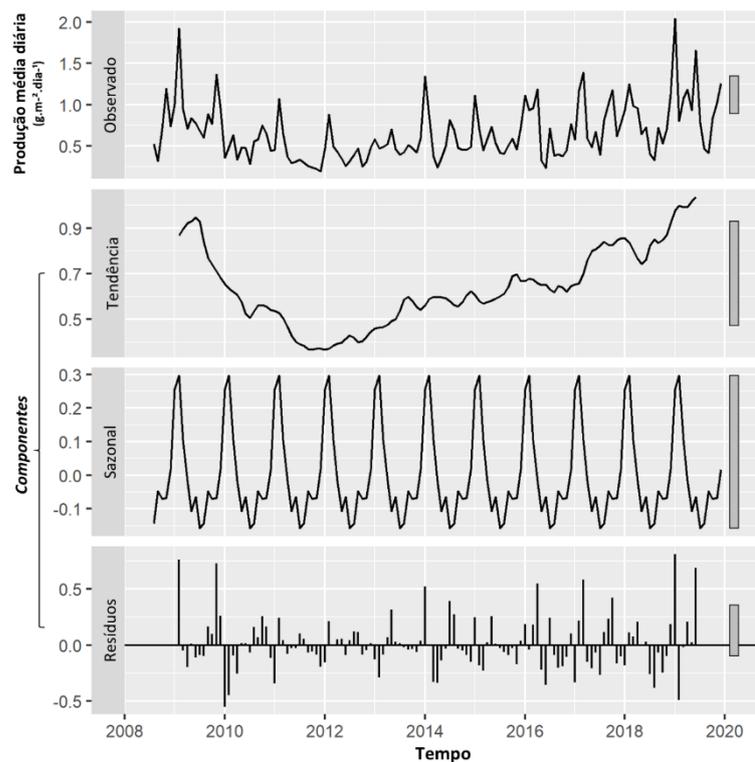
onde é relatado que a transição foi colonizada por *R. mangle* em etapa posterior à bacia de acordo com estudos dendrocronológicos. Com essas informações e olhando apenas para os resultados apresentados a partir do monitoramento de serapilheira, a praga sobre a floresta de mangue de Guaratiba se mostrou como um possível catalisador do processo de sucessão das espécies.

Figura 39 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *R. mangle* na bacia no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



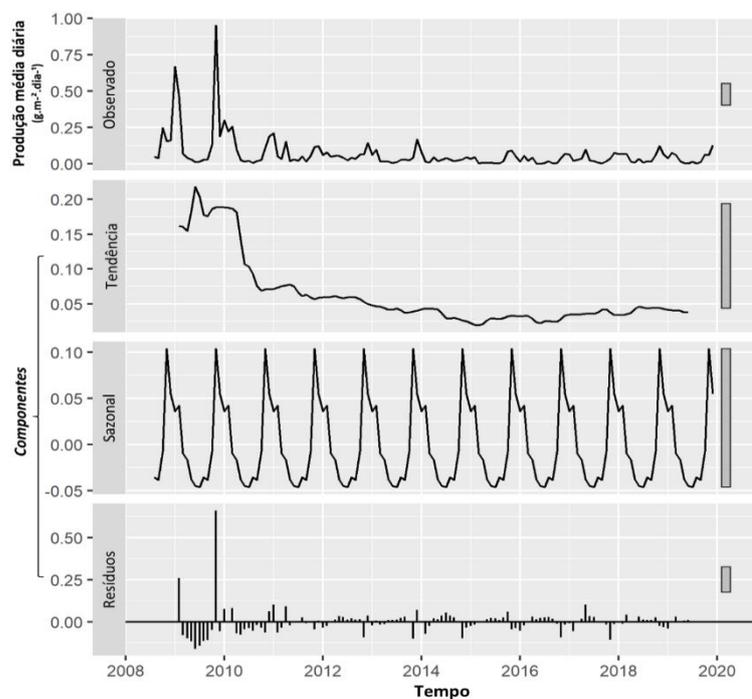
Fonte: O autor, 2022.

Figura 40 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *A. schaueriana* na bacia no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 41 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *L. racemosa* na bacia no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



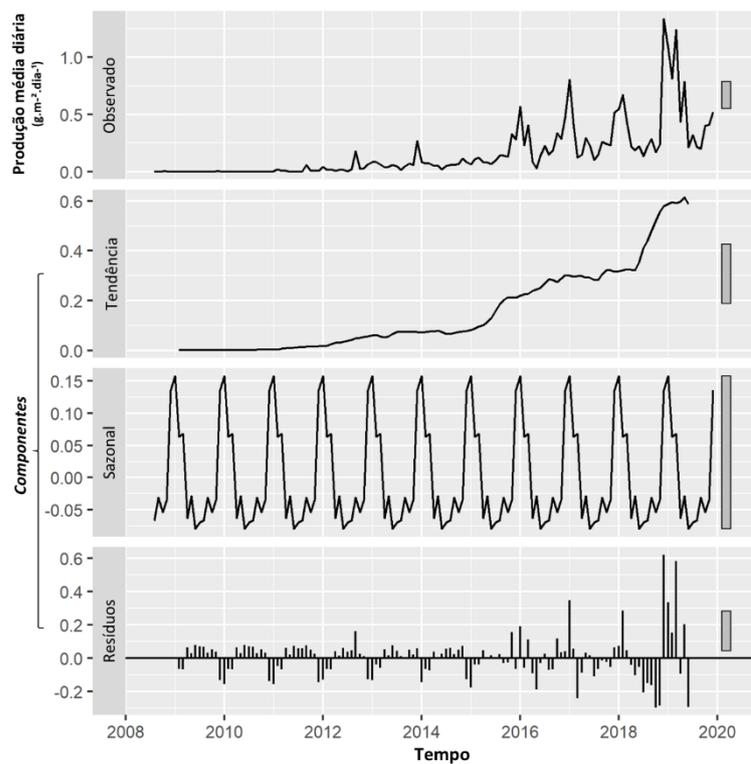
Fonte: O autor, 2022.

Analisando as componentes sazonalidade, tendência e os resíduos da presença de folhas na serapilheira das diferentes espécies nas florestas de transição do manguezal de

Guaratiba (**Figura 42**, **Figura 43** e **Figura 44**), observa-se que todas as espécies apresentam comportamento sazonal da produção de folhas como relatado para as florestas de franja e de bacia. A partir da componente tendência é visto que a produção de folhas de *R. mangle* apresenta tendência de aumento a partir de 2011 até o final da série, confirmado através do teste de Mann-Kendall (**Tabela 20**), com tendência significativa positiva ($p < 0,001$). A produção de folhas de *A. schaueriana* apresentou tendência de queda do início da série até metade do ano de 2012 e, logo após, até o final da série, essa espécie apresenta tendência de aumento atingindo valores próximos ao início da série. Analisando toda a série de produção de folhas de *A. schaueriana*, através do teste de Mann-Kendall é visto que a série completa apresenta tendência significativa positiva ($p = 0,0043$). *L. racemosa* apresentou para a transição tendência de aumento da produção de folhas do início da série até o ano de 2014, com posterior queda até o final da série. O teste de Mann-Kendall ($p = 0,0021$), aplicado à série completa de folhas de *L. racemosa*, apresentou tendência significativa negativa. Os resíduos comportaram-se de forma aleatória, não apresentando períodos contínuos acima de 1 ano de valores maiores ou menores que zero para nenhuma das espécies.

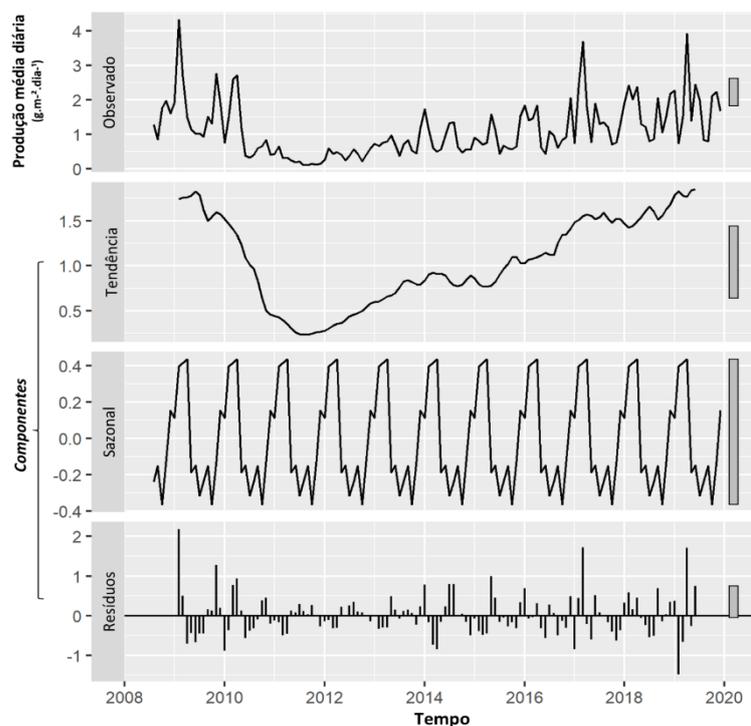
Os resultados da transição são parecidos com os da bacia e mostram com clareza o efeito da praga, da recuperação da floresta e do processo de sucessão das espécies (ESTRADA et al., 2013; SOARES et al., 2005; SOARES, 2009). A componente tendência e o resultado significativo de Mann-Kendall para *R. mangle* mostram que esta espécie se tornou presente na serapilheira no final do período de efeito da praga sobre *A. schaueriana*, e sua produção tende a aumentar na transição indicando forte processo de sucessão nesta região tendo a praga como catalisador do processo. *A. schaueriana*, mesmo tendo sua produção reduzida durante a praga, apresentou tendência de aumento em toda a série, indicando que teve boa recuperação. A diminuição de *L. racemosa* na transição estaria relacionado ao amadurecimento da floresta e processo de sucessão das espécies, assim como na franja e bacia.

Figura 42 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *R. mangle* na transição no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



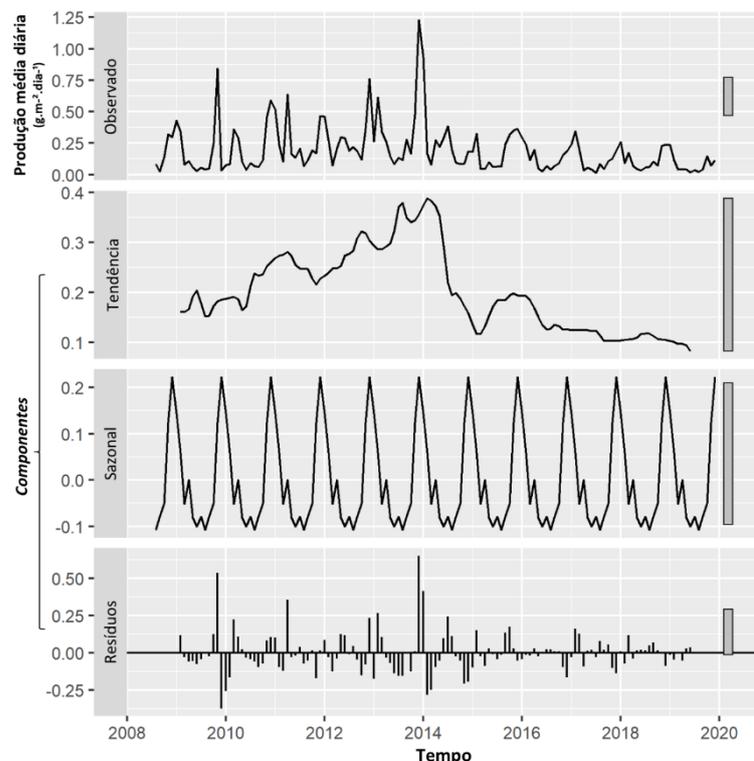
Fonte: O autor, 2022.

Figura 43 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *A. schaueriana* na transição no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 44 – Decomposição clássica aditiva da série de produção de folhas de *L. racemosa* na transição no período de agosto/2008 a dezembro/2019.



Fonte: O autor, 2022.

Tabela 20 – Teste de Mann Kendall aplicado para a produção média diária de folhas das espécies de mangue e tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba – RJ de janeiro/2009 a dezembro/2019.

Tipo fisiográfico	Espécie	Z	p-valor	S (tendência)
Franja	<i>R. mangle</i>	1,1518	0,2494	NS
	<i>A. Schaueriana</i>	1,6208	0,1051	NS
	<i>L. Racemosa</i>	-9,3063	<0,001	S-
Bacia	<i>R. mangle</i>	2,4768	0,0133	S+
	<i>A. Schaueriana</i>	2,8564	0,0043	S+
	<i>L. Racemosa</i>	-3,8575	<0,001	S-
Transição	<i>R. mangle</i>	13,033	<0,001	S+
	<i>A. Schaueriana</i>	4,1366	<0,001	S+
	<i>L. Racemosa</i>	-3,0722	0,0021	S-

Legenda: NS: Tendência não significativa; S-: Tendência significativa negativa; S+: Tendência significativa positiva.

Em relação à dinâmica das espécies e aos tipos fisiográficos na linha temporal em estudo, a partir dos resultados da contribuição de folhas de *R. mangle* por cada tipo fisiográfico foi possível observar que mesmo registrando seus valores de produção mais baixos nos primeiros anos, esta espécie aumentou sua participação na transição da floresta,

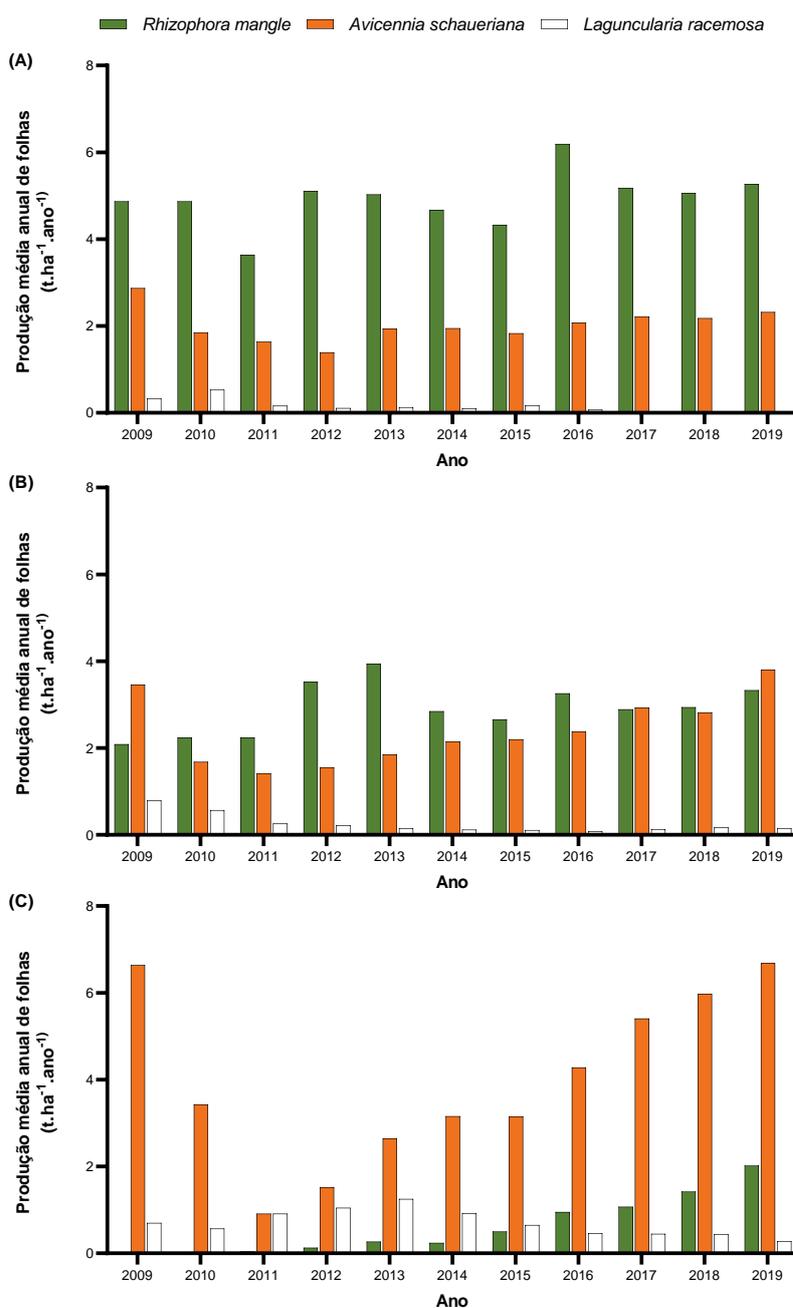
região onde entre 2009 e 2010 não exibia nenhuma folha desta espécie na serapilheira (**Figura 45C**). A floresta de franja parece se comportar em ritmo diferente das demais áreas, ocorrendo aumento de sua produção, mas de forma oscilatória, o que pode ser devido à franja ser uma floresta madura portanto estável. A floresta de bacia também apresenta este comportamento, porém não tão demarcado como na franja. Observando os dados, é esperado que ocorra maior contribuição de folhas de *R. mangle* no tipo fisiográfico transição nos próximos anos. Esta espécie parece não ter sido afetada negativamente pelo evento de herbivoria nos anos de 2009 e 2010, em vez disto sua produção aumentou em todos os tipos fisiográficos, em especial na transição.

Conforme relatado em outros estudos (ANDERSON; LEE, 1995; ELSTER et al., 1999; FERNANDES; NASCIMENTO; CARVALHO, 2009; MENEZES; MEHLIG, 2005; MENEZES; PEIXOTO, 2009; SATHISH et al., 2021; SAUR et al., 1999), em Guaratiba a praga de lagartas teve incidência preferencial de herbivoria sobre *Avicennia*. Para esta espécie foi verificada uma redução expressiva de sua produção do início do monitoramento até 2011, ano em que todas as áreas da floresta apresentaram menor produção desta espécie. A floresta de transição mesmo sendo a área a apresentar maior redução da produção, no final do monitoramento apresentou valores condizentes com o início do monitoramento, assim como a franja e bacia. A produção de folhas de *A. schaueriana* nas florestas de bacia e transição foram as mais afetadas pelo evento de herbivoria, quando comparadas à franja. De acordo com Estrada *et. al* (2013) no manguezal de Guaratiba *A. schaueriana* é dominante, variando de 38,22% a 59,82% em área basal viva na bacia. Na transição, também é observada maior dominância em área basal de *A. schaueriana*, variando de 71,37% a 80,39%. Tais resultados mostram que estas florestas foram mais sucessíveis à praga devido a maior presença da espécie de mangue preferencialmente herbivorada.

L. racemosa, parece não ter sido afetada pela herbívora de lagartas de forma negativa, com redução da produção de folhas. Nas florestas de franja e de bacia esta espécie diminuiu a contribuição de folhas na serapilheira ao longo da série temporal, não apresentando produção acima de $0,17 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ nestas áreas nos últimos três anos (**Figura 45A**). Já na área de transição, com a diminuição severa da produção de folhas de *A. schaueriana*, *L. racemosa* aumentou de forma expressiva sua proporção na produção de folhas, atingindo a maior produção de folhas no manguezal de Guaratiba para esta espécie em 2013. Entretanto, nos últimos anos do monitoramento ocorreu diminuição da sua produção nesta área, ficando abaixo de $0,46 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ nos últimos três anos (2017 a 2019). No geral, *L. racemosa* parece se aproveitar do espaço deixado por *A. schaueriana*, aumentando a sua produção de folhas

(Figura 45C), possivelmente pela abertura no dossel da floresta, característica de espécie oportunista. Entretanto, o aumento da presença de *R. mangle* nos últimos anos e o restabelecimento das produções de *A. schaueriana* teve como resposta a diminuição da presença de folhas de *L. racemosa* na serapilheira (Figura 45C).

Figura 45 – Produção média anual de folhas por espécie na serapilheira ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) dos tipos do manguezal de Guaratiba – RJ de 2009 a 2019.



Legenda: (A) Franja; (B) Bacia; (C) Transição.
Fonte: O autor, 2022.

Para melhor compreensão dos efeitos da praga no manguezal de Guaratiba a partir da produção de folhas, a seguir são apresentadas correlações entre a produção de folhas por espécies e demais compartimentos da serapilheira a partir das componentes tendências.

A partir da matriz de correlação realizada entre as componentes tendências na produção de folhas das diferentes espécies e dos demais compartimentos da serapilheira (**Figura 46**), é visto que na franja não há correlações significativas entre a componente tendência na produção de folhas de *A. schaueriana* com as demais espécies, reforçando a ideia de que esta área foi a menos afetada pelo efeito da praga (**Figura 46A**), o cruzamento das tendências na franja pode ser visualizado na **Figura 47A**.

Já no tipo fisiográfico bacia foi observada correlação negativa com a componente tendência na produção de folhas *R. mangle* ($R = -0,2736$ e $p < 0,05$), indicando que conforme a produção de folhas de *A. schaueriana* decresce a produção de *R. mangle* aumenta (**Figura 46B** e **Figura 47B**). Na transição da floresta a correlação da componente tendência na produção de folhas de *A. schaueriana* com *R. mangle* é positiva ($R = 0,6173$ e $p < 0,001$). A explicação para isto é que na transição a produção de folhas de *R. mangle* nos primeiros anos analisados eram próximas de zero. Com o efeito da praga sobre *A. schaueriana*, de ápice em 2011, *R. mangle* passou a apresentar maiores produções relacionado ao processo de sucessão de espécies facilitado pela praga e conforme *A. schaueriana* se recupera e aumenta a produção de folhas, durante seu processo de recuperação, as duas espécies apresentaram tendência de aumento após 2011 relacionados ao processo de sucessão e recuperação (**Figura 47C**).

A correlação entre as componentes tendências na produção de folhas de *A. schaueriana* com *L. racemosa* na transição confirma o que foi relatado anteriormente. O resultado da correlação foi negativo ($R = -0,6877$ e $p < 0,001$), indicando que conforme a produção de folhas de *A. schaueriana* decresce a produção de folhas *L. racemosa* aumenta (**Figura 47C**). Além disso, também é visto correlação negativa da componente tendência na produção de folhas de *R. mangle* com folhas de *L. racemosa* em todos os tipos fisiográficos indicando que conforme a produção de *R. mangle* aumenta a produção de *L. racemosa* decresce (**Figura 46** e **Figura 47**). Essas correlações são mais fortes nas áreas de bacia e transição com coeficientes de correlação de $R = -0,6447$ e $R = -0,6502$, respectivamente, indicando possível resposta ao processo de sucessão nessas zonas.

Além da desfolhação severa, a herbivoria de insetos pode causar morte de galhos (CANNICCI et al., 2008; FELLER, 2002; FELLER; MATHIS, 1997; JENOH et al., 2016). De acordo com Burrows (2003) herbívoros de folhas causaram maior mortalidade de brotos lenhosos do que insetos que são prejudiciais à madeira devido à morte apical ocasionada. Se a

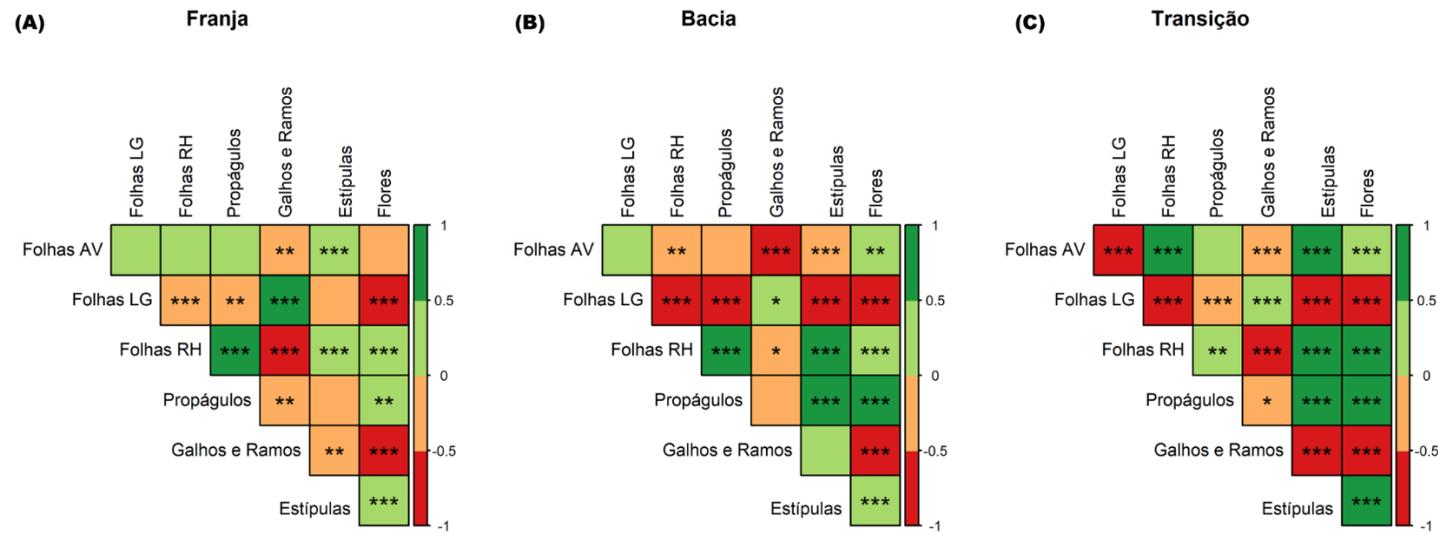
árvore estiver enfraquecida estruturalmente, além das folhas, galhos podem cair (SAUVARD, 2007). Partindo da hipótese de que um dos efeitos da praga em florestas de mangue é aumento da queda de galhos e ramos na serapilheira, na **Figura 47** está plotada no eixo y direito os resultados das componentes tendências, obtidos através da decomposição clássica aditiva da produção de galhos e ramos na serapilheira no manguezal de Guaratiba nos tipos fisiográficos.

A componente tendência de galho e ramos apresenta comportamento geral parecido em todos os tipos fisiográficos, com aumento da produção a partir de 2011 que se mantém elevada até 2012 com posterior queda. Entre 2013 e 2016, a produção mantém baixa e a partir de 2017 a produção de galhos e ramos apresenta-se sem grandes variações. A partir disto é possível confirmar a hipótese de que há aumento de galhos e ramos na serapilheira ocasionada pela desfolhação severa em *A. schaueriana*. E as correlações apresentadas na **Figura 46** confirmam isto. É visto correlação negativa da componente tendência na produção de folhas de *A. schaueriana* com galhos e ramos na franja ($R = -0,2527$ e $p < 0,05$), bacia ($R = -0,5825$ e $p < 0,001$) e transição ($R = -0,3905$ e $p < 0,001$), indicando que conforme a produção de folhas de *A. schaueriana* decresce a produção de galhos e ramos aumenta na serapilheira. Este mesmo padrão é visto com *R. mangle* e galhos e ramos na franja ($R = -0,5051$ e $p < 0,001$) e transição ($R = -0,5422$ e $p < 0,001$).

Já quando correlacionamos a componente tendência na produção de folhas de *L. racemosa* com galhos e ramos é visto um padrão oposto ao encontrado para as demais espécies. A partir das matrizes de correlação (**Figura 46**) é visto correlação significativa positiva entre a componente tendência na produção de folhas de *L. racemosa* com galhos e ramos na franja ($R = 0,6403$ e $p < 0,001$) e transição ($R = 0,3698$ e $p < 0,001$), a correlação na bacia também é positiva porém não significativa ($R = 0,1852$ e $p = 0,0385$). Tais informações indicam que aumento repentino na queda de galhos e ramos está associado à redução de folhas de *A. schaueriana* devido à praga, reforçado pelas correlações positivas entre galhos e ramos e *L. racemosa*. Os valores a partir de 2018 de galhos e ramos podem demonstrar amadurecimento da floresta e/ou estabilização após o evento de desfolhação severa.

As correlações da componente tendência na produção de folhas de *A. schaueriana* e propágulos não foram significativas em nenhum tipo fisiográfico (**Figura 46**), entretanto foram positivas com estípulas na franja ($R = 0,3851$ e $p < 0,001$) e transição ($R = 0,5228$ e $p < 0,001$) e negativa na bacia ($R = -0,4090$ e $p < 0,001$). As correlações com flores foram positivas e significativas na bacia ($R = 0,2693$ e $p < 0,005$) e transição ($R = 0,2991$ e $p < 0,005$).

Figura 46 – Matriz de correlação (Pearson) das componentes tendência na produção de folhas (por espécies), propágulos, galhos e ramos, estípulas e flores na franja (A), bacia (B) e transição (C) do manguezal de Guaratiba-RJ.



Legenda: As correlações negativas são apresentadas na cor vermelha e laranja e as correlações positivas são apresentadas em verde claro e escuro. No lado direito da matriz, a cor da legenda mostra as cores correspondentes aos coeficientes de correlação. Os asteriscos indicam o nível de significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

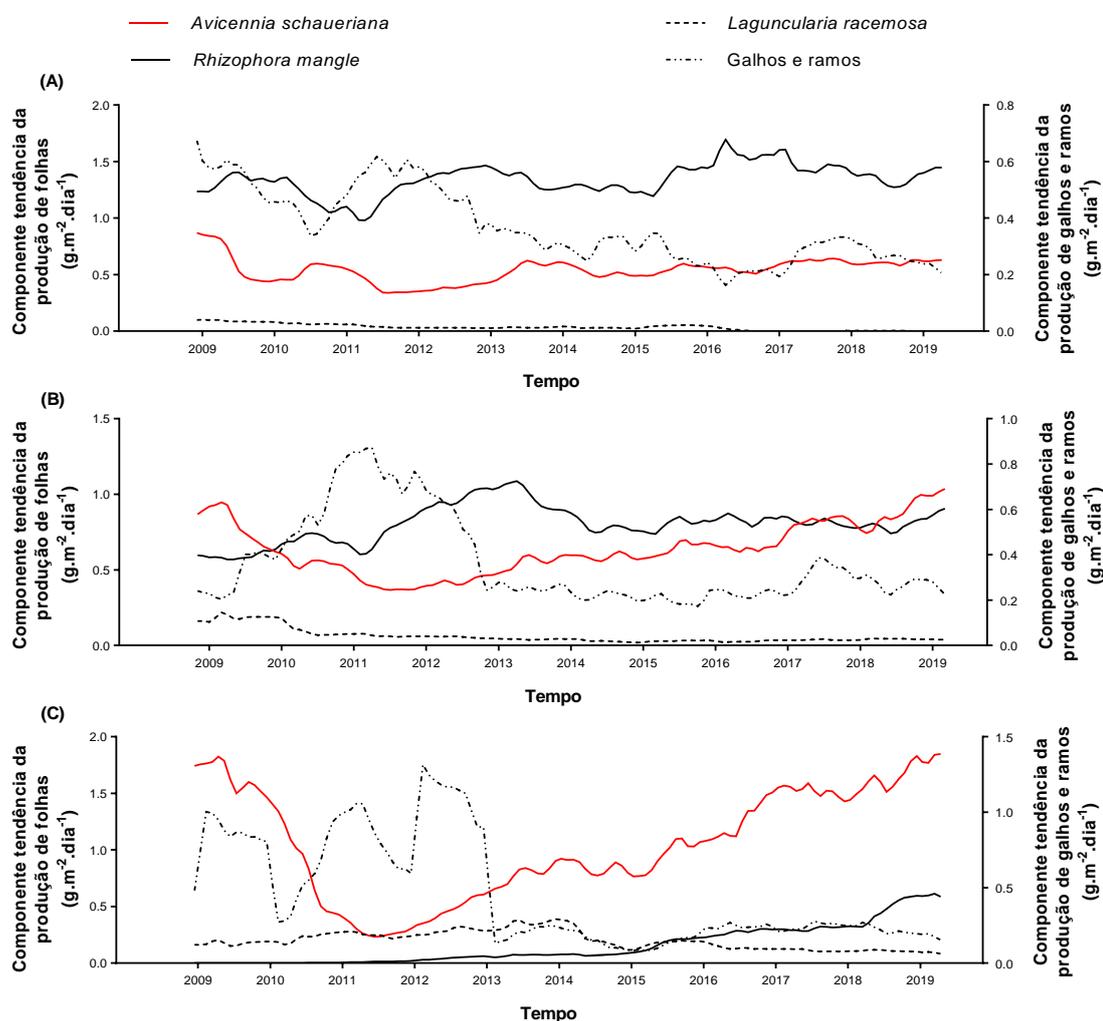
Fonte: O autor, 2022.

A componente tendência na produção de estípulas também apresenta correlações significativas positivas com folhas de *R. mangle* na franja ($R= 0,3092$ e $p<0,001$), bacia ($R= 0,7809$ e $p<0,001$) e transição ($R= 0,9003$ e $p<0,001$); e negativas com folhas de *L. racemosa* na bacia ($R= -0,6854$ e $p<0,001$) e transição ($R= -0,6212$ e $p<0,001$). Essas relações provavelmente estão relacionadas ao aumento da presença de *R. mangle* nas áreas de bacia e transição, principalmente a última devido alto coeficiente de correlação ($R= 0,9003$), conforme também visto nas correlações negativas entre as componentes tendências na produção de folhas de *R. mangle* e *L. racemosa* nestas mesmas zonas.

As correlações da componente tendência na produção de propágulos e folhas também apresentam indícios do processo de sucessão na floresta de Guaratiba. Há ocorrência de correlações positivas significativas com folhas de *R. mangle* em todos os tipos fisiográficos: franja ($R= 0,6081$ e $p<0,001$), bacia ($R= 0,5912$ e $p<0,001$) e transição ($R=0,2773$ e $p<0,01$). E há correlações significativas negativas com folhas de *L. racemosa* na franja ($R= -0,2647$ e $p<0,001$), bacia ($R= -0,6518$ e $p<0,001$) e transição ($R= -0,3043$ e $p<0,001$). Não são observadas correlações significativas com folhas de *A. schaueriana*. As correlações positivas de propágulos com folhas de *R. mangle*, mostram a influência do domínio desta espécie no manguezal, aumentando a biomassa de propágulos na produção, já que esta espécie apresenta partes reprodutivas com maior tamanho e peso.

A componente tendência na produção de flores apresenta correlações significativas positivas com folhas de *R. mangle* na franja ($R= 0,4589$ e $p<0,001$), bacia ($R= 0,3360$ e $p<0,001$) e transição ($R= 0,7068$ e $p<0,001$); e negativas com folhas de *L. racemosa* na franja ($R= -0,5958$ e $p<0,001$), bacia ($R= -0,6393$ e $p<0,001$) e transição ($R= -0,5824$ e $p<0,001$). Essas correlações, assim como para a produção de estípulas e propágulos com folhas das espécies presentes, provavelmente estão relacionadas ao aumento da presença de *R. mangle* nas áreas de bacia e transição do manguezal de Guaratiba através do processo de sucessão ecológica em andamento, catalisado pelas mudanças na composição da flora estimuladas pela praga de lagartas sobre *A. schaueriana*.

Figura 47 – Componente tendência da produção de folhas por espécies e galhos e ramos das florestas de franja (A), bacia (B) e transição (C) do manguezal de Guaratiba - RJ entre 2008 e 2019.



Fonte: O autor, 2022.

4.3.2 Modelo de influência de praga de lagartas sobre a produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba

Casos de desfolhação severa causada por larvas de lepidópteros em espécies de mangue foram relatados em várias partes do mundo, em especial sobre o gênero *Avicennia*, como no estudo de Menezes e Mehlig (2005), em *Avicennia germinans* (L.), no Brasil; Elster *et al.* (1999) em *Avicennia germinans*, na Colômbia; Anderson e Lee (1995), em *Avicennia marina*, em Hong Kong; Sathish *et al.* (2021), em *Avicennia marina*, na Índia. No manguezal

de Guaratiba o caso não foi diferente, os resultados mostraram que *A. schaueriana* foi a espécie mais impactada pelo consumo destes herbívoros causando desfolhação severa, o que também foi verificado por observação em campo. Para esta espécie foi observada uma redução expressiva da presença de folhas na serapilheira do início do monitoramento até 2011 em todos os tipos fisiográficos (**Figura 37**, **Figura 40** e **Figura 43**). A transição, mesmo sendo a área com maior redução na contribuição de folhas desta espécie na serapilheira, no final da série temporal apresentou valores nos mesmos patamares dos observados no início do monitoramento, assim como a franja e bacia (**Figura 45**).

Outro caso de desfolhação severa foi relatado anteriormente para a RBEG por Menezes e Peixoto (2009), entre maio de 1991 e maio de 1993. Foi relatado um boom populacional de *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) que resultou na desfolhação generalizada de árvores de *Avicennia*, seguida da morte de muitos indivíduos. Ainda neste estudo, foram reconhecidas 17 morfoespécies de artrópodes causadoras de dano a partir da herbivoria, com a espécie *A. schaueriana* apresentando maior riqueza de morfoespécies danificadoras de folhas. Entre maio de 1991 a abril de 1992 a perda de área foliar por herbivoria foi de 12,1% em *L. racemosa*, 8,3% em *A. schaueriana* e 6,2% em *R. mangle*.

Menezes e Peixoto (2009) ainda relataram diversas espécies de Lepidoptera causadores de danos através da herbivoria em *Avicennia schaueriana* na Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RJ). As espécies causadoras de danos nas margens das folhas foram *Junonia evarete*, *Rothildia aurota*, *Madoryx oclus* e *Oiketicus kirbyi*. *Junonia evarete* também registrou danos de raspagem nas folhas. Já danos de extração de folhas ocorreu por uma espécie de Lepidoptera não identificada. Danos por buracos foram cometidos por *Hyblaea puera*, espécie causadora da desfolhação severa entre 1991 e 1993, o que pode indicar que este tipo de dano tem maiores chances de causar desfolhação em massa. Entretanto, em Guaratiba a espécie causadora do evento de desfolhação severa entre 2009 e 2010 no manguezal de Guaratiba não foi identificada.

Menezes e Mehlig (2005), relataram para o município de Bragança, Pará desfolhação maciça de árvores de *Avicennia germinans* por lagartas da mariposa *Hyblaea puera*. Foram observados ataques repetidos entre março e agosto de 1998 com desfolhação completa em florestas monoespecíficas de *A. germinans*, já em florestas mistas, indivíduos sofreram ataques menos intensos. De acordo com os autores, florestas monoespecíficas favorecem migração entre árvores, enquanto em florestas mistas as árvores pouco afetadas encontraram-se lado a lado de árvores completamente desfolhadas.

Segundo análise de imagens de satélite realizada por Almeida (2010), um possível caso de mortes massivas no manguezal de Guaratiba pode ter sido ocasionado por praga de insetos na metade da década de 1980. Os ciclos de praga de herbívoros em Guaratiba também são reforçados pela descrição de moradores e pescadores da região, que relatam a ocorrência periódica desses eventos e descrevem o evento relatado neste artigo (2009/2010) como o mais severo dentre os últimos que ocorreram na região (ESTRADA, 2013).

O manguezal de Guaratiba é em sua maioria composto por florestas mistas, a transição e bacia apresentam maior contribuição em área basal viva de indivíduos de *A. schaueriana* (ESTRADA et al., 2013; SOARES et al., 2017). Nas florestas de franja a produção média anual de folhas de *A. schaueriana* foi reduzida em 43%, caindo de 2,87 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2009 para 1,64 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2011 (Tabela 21). Já nas florestas de bacia a produção de folhas desta espécie foi reduzida em 59% (3,46 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2009 contra 1,41 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2011) - Tabela 21. Nas florestas de transição a produção foi reduzida em 86%, variando de 6,64 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2009 para 0,91 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2011 (Tabela 21). Estes resultados indicam que as florestas de bacia e transição foram as mais afetadas pela praga quando comparadas às florestas de franja, tendo como consequência a forte diminuição da produção de folhas de *A. schaueriana* na serapilheira (Tabela 21).

Entre de 2011 e 2019 a produção de folhas de *A. schaueriana* apresentou aumento de 41% na franja, 170% na bacia e 634% na transição (Tabela 21), indicando a recuperação da produção de folhas desta espécie, após o episódio de ataque pela praga. Os resultados significativos do teste de Mann-Kendall (**Tabela 20**) também indicaram esta recuperação, com tendência de aumento significativo da produção de folhas de *A. schaueriana* nas séries temporais (**Figura 47**). Os resultados mostram que *A. schaueriana* voltou a apresentar, no ano de 2019, valores de produção de folhas na serapilheira similares aos observados no início do monitoramento, com período de recuperação de cerca de 8 anos.

A produção de folhas de *R. mangle* era quase inexistente nas florestas de transição em 2009, porém em 2011 esta espécie aumentou sua participação nessas florestas de forma significativa, quando foi registrada produção de 0,04 t.ha⁻¹.ano⁻¹, que aumentou para 2,02 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2019 (**Figura 45C**). Nos primeiros 2 anos de monitoramento, essa espécie não apresentava contribuição de folhas na serapilheira na floresta de transição, o que traz a possibilidade do evento de herbivoria ter sido benéfico para esta espécie, funcionando como catalisador do processo de sucessão, associado ao avanço desta espécie em direção à planície hipersalina, como resposta à elevação do nível médio do mar (Soares, 2009). A franja apresenta estabilidade frente ao evento de desfolhação severa (**Figura 36**) devido ao maior

desenvolvimento estrutural, associado à maturidade da floresta e menor contribuição de *A. schaueriana* (SOARES et al., 2017). Nas florestas de bacia, a produção de folhas de *R. mangle* na serapilheira apresenta crescimento no ápice da praga de lagartas, com aumento de 7% de 2009 para 2011 e alta produção em 2013 (3,94 t.ha⁻¹.ano⁻¹) (**Tabela 21**). Altos teores de taninos são comuns nesta espécie (LACERDA et al., 1986; ROBERTSON; DUKE, 1987), o que confere resistência ao ataque de herbívoros. Diversos estudos relatam menores taxas de herbivoria em folhas de *R. mangle* no Brasil, quando comparado as demais espécies (IGNACIO et al., 2005; MENEZES; PEIXOTO, 2009; ROCHA; AMORIM; MOCHEL, 2019). Observando os resultados obtidos e suas tendências, é esperado que ocorra maior contribuição de folhas de *R. mangle* nas florestas de transição nos próximos anos.

Estudos relatam que *L. racemosa* apresenta folhas com propriedades que podem diminuir o ataque por herbívoros (COLEY, 1983; DA SILVA; LAGE-PINTO; BERNINI, 2015). Propriedades mecânicas das folhas como a tenacidade, influenciam na interação com herbívoros, sendo um dos traços que responde ao estresse ambiental como a herbivoria. Nesse sentido, aparentemente, em Guaratiba, *L. racemosa* não sofreu danos severos causados pelas lagartas de lepidóptera pelas observações em campo, porém o evento de desfolhação severa em indivíduos de *A. schaueriana* implicou na dinâmica desta espécie em Guaratiba. Nas florestas de franja e de bacia esta espécie diminuiu ao longo da série temporal como foi visto nos resultados de Mann-Kendal (**Tabela 20**) e em sua contribuição para o total de folhas (**Figura 35**), e apresentou redução de 52% e 67%, respectivamente, de 2009 a 2011 (**Tabela 21**), o que pode ser consequência do processo de sucessão ecológica em curso, conforme descrito por (ESTRADA, 2013; SOARES et al., 2005; SOARES, 2009). Na transição, com a desfolhação severa de *A. schaueriana* entre 2009 e 2010, *L. racemosa* aumentou de forma expressiva a produção de folhas, atingindo a maior produção na floresta para esta espécie em 2013, com 1,25 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (

Figura 35C), além de apresentar correlação negativa com a tendência na produção de folhas de *A. schaueriana* (**Figura 46C**). *L. racemosa* parece se aproveitar do espaço deixado por *A. schaueriana*, possivelmente pela abertura no dossel da floresta, característica de espécie oportunista. Por outro lado, o aumento da presença de *R. mangle* e a recuperação da população de *A. schaueriana* nos últimos anos afetou a dinâmica dessa comunidade, tendo como consequência a diminuição da presença de folhas de *L. racemosa* na serapilheira.

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, podemos estabelecer o seguinte modelo (**Figura 48**) com os estágios relacionados aos efeitos da praga de lagartas de Lepidoptera sobre os manguezais de Guaratiba:

- I – Início da praga e aumento acentuado da herbivoria (anos 2009 e 2010);**
- II – Ápice da desfolhação severa (2011);**
- III – Processo de recuperação da espécie afetada (entre os anos 2012 e 2018);**
- IV – Regeneração da espécie afetada (2019).**

No estágio I, com cerca de 2 anos, é caracterizado pela redução da produção de folhas da espécie afetada pelos herbívoros, no caso *A. schaueriana*. Com esta redução há ocorrência de efeitos indiretos da praga como: aumento ou redução da produção de folhas das demais espécies das florestas ou dos demais compartimentos, como galhos e ramos.

No estágio II, que dura 1 ano, é atingido o máximo de perda de folhas da espécie afetada, com possível mortalidade dos indivíduos. As perdas podem variar entre 43% e 96% da produção anual de folhas dependendo da zona, com florestas monoespecíficas ou de maior dominância da espécie afetada sendo mais vulneráveis.

Posteriormente, no estágio III, que se prolonga por 7 anos, outros efeitos indiretos da praga podem ocorrer, como facilitação de processos de sucessão e competição de espécies. As espécies que tiveram aumento da produção de folhas podem manter os níveis elevados mesmo que a espécie afetada pela praga comece seu processo de recuperação, assim também como espécies, no caso *L. racemosa*, podem diminuir sua presença em determinadas zonas da floresta devido à competição com as demais. Neste estágio, a queda de galhos e ramos tende a se reestabelecer aos valores registrados antes do estágio II em torno de 2 anos.

O estágio IV tem início 8 anos após o ápice da desfolhação severa (estágio II) e é caracterizado quando a produção de folhas da espécie afetada, no caso *A. schaueriana*, atinge patamar de produção compatível ao observado antes do início da praga, refletindo regeneração da espécie.

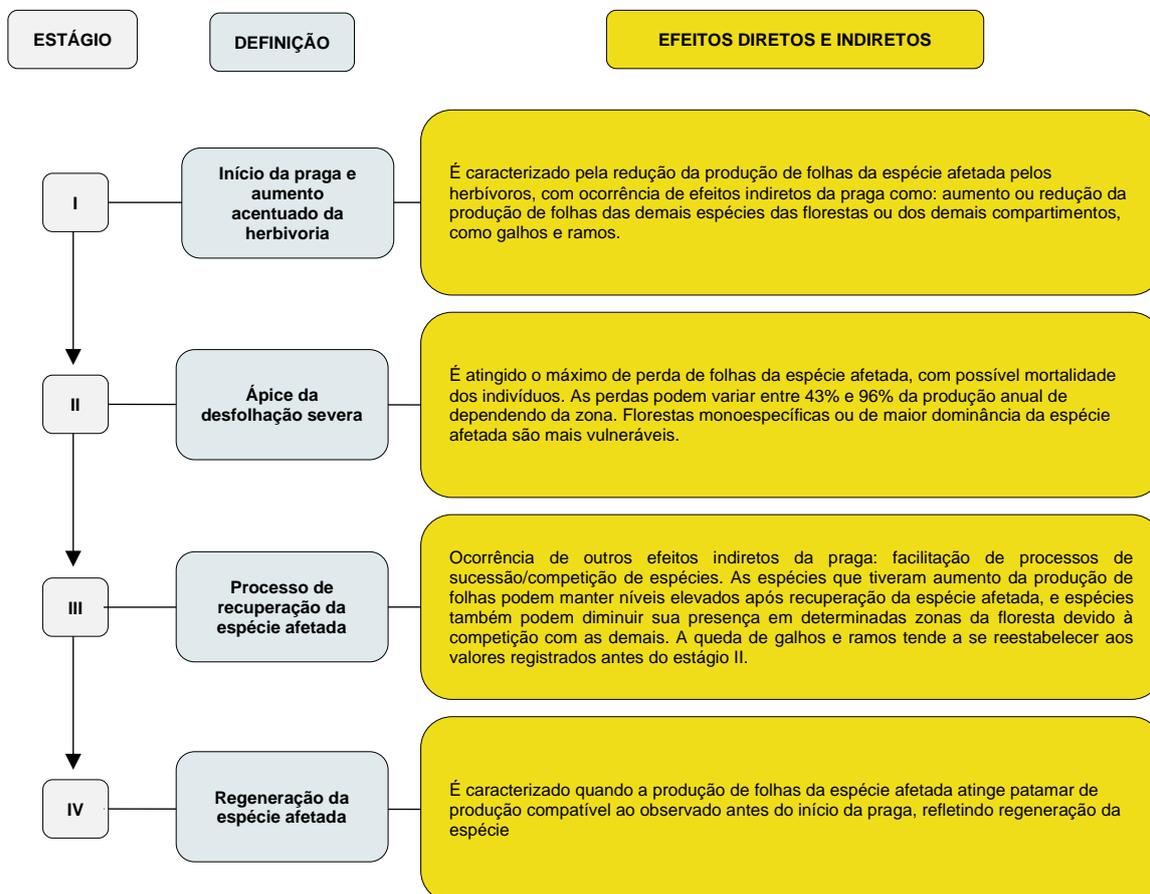
Tabela 21 – Produção média anual de folhas por espécies ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) antes da praga (2009), no pico da desfolhação (2011) e no final da série temporal (2019) e as variações percentuais frente a praga de herbívoros no manguezal de Guaratiba.

Espécie	Tipo Fisiográfico	Produção média anual de folhas no início da série temporal	Produção média anual de folhas no pico da desfolhação	Produção média anual de folhas no final da série temporal	Variação percentual da produção média anual de folhas conforme os períodos	
		($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	(%)	(%)
		2009	2011	2019	2009-2011	2011-2019
<i>A. schaueriana</i>	<i>Franja</i>	2,87	1,64	2,32	-43	+41
	<i>Bacia</i>	3,46	1,41	3,8	-59	+170
	<i>Transição</i>	6,64	0,91	6,68	-86	+634
<i>R. mangle</i>	<i>Franja</i>	4,87	3,63	5,27	-25	+45
	<i>Bacia</i>	2,09	2,24	3,33	+7	+49
	<i>Transição</i>	0	0,04	2,02	*	+4950
<i>L. racemosa</i>	<i>Franja</i>	0,33	0,16	0	-52	-100
	<i>Bacia</i>	0,79	0,26	0,15	-67	-42
	<i>Transição</i>	0,70	0,91	0,28	+30	-69

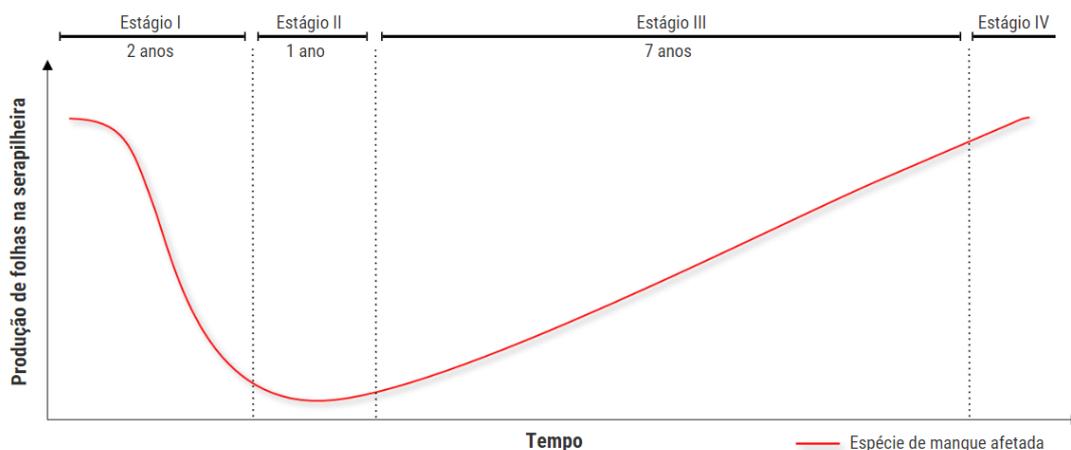
Legenda: *A espécie *R. mangle* não apresentou produção de folhas em 2009 na floresta de transição, não podendo ser estimada sua variação entre o início da série temporal e o pico da herbivoria.

Figura 48 – Modelo de influência de praga de lagartas sobre a produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba (RJ).

(A)



B)



Legenda: (A) – Estágios e seus efeitos diretos e indiretos da praga nas florestas de mangue; (B) – Duração dos estágios e curva conceitual da espécie de mangue afetada pela praga de lagartas.

4.4 Produção de Serapilheira no Manguezal de Guaratiba e Fatores Abióticos Associados

4.4.1 Climatologia e balanço hídrico sequencial no manguezal de Guaratiba

Nesta seção serão brevemente apresentadas e discutidas as variáveis climáticas e do balanço hídrico da região de Guaratiba para auxiliar no entendimento das relações destas com a produção de serapilheira e seus compartimentos. Uma análise climatológica detalhada para a região de Guaratiba é encontra em Estevam (2019), trabalho onde foi analisado uma série histórica de dados de mais de 30 anos.

4.4.1.1 Caracterização climática do período amostral

Ao analisarmos a série temporal de 12 anos de dados da Estação Meteorológica da Marambaia mensalmente podemos observar que a precipitação acumulada mensal apresentou valores que variaram de 2,8 mm em julho de 2016 até 458,6 mm em fevereiro de 2019, com média mensal registrada para o período de $92,88 \pm 72,89$ mm (**Figura 49**).

A temperatura do ar média foi registrada em 12 picos de alta que ocorreram entre novembro e maio de cada ano. Para o período de 2008 a 2019 foi registrada média de $23,31 \pm 2,21$ °C da temperatura do ar (**Figura 49**), com o menor valor em junho do ano de 2016 (19,43 °C) e o maior valor em janeiro de 2019, 27,88 °C. Nota-se que as mínimas e máximas de temperatura do ar da série foram registradas um mês antes dos extremos de precipitação acumulada mensal.

A evapotranspiração potencial também foi registrada em 12 picos de alta que ocorreram entre novembro e maio de cada ano, como a temperatura média do ar. Para o período de 2008 a 2019 foi registrada média de $102,55 \pm 33,10$ mm (**Figura 49**), com o menor valor em junho do ano de 2016 (48,70 mm) e o maior em janeiro de 2019 (192,70 mm).

Para analisar a variação durante o ano, foram calculadas as médias de cada mês da temperatura do ar, precipitação acumulada mensal e evapotranspiração potencial juntamente com a umidade relativa do ar e radiação. Tais resultados são apresentadas na (**Tabela 22**).

Em relação ao comportamento anual, a temperatura média do ar e precipitação acumulada mensal mostram um comportamento característico para a região, sendo observada forte sazonalidade das estações de inverno e verão no comportamento anual destas variáveis. A temperatura do ar apresenta seus menores valores nos meses de inverno, com o menor registrado no mês de julho, com $20,67 \pm 0,61$ °C. Janeiro e fevereiro são os meses de maiores temperaturas, com $26,40 \pm 1,26$ °C e $26,40 \pm 0,72$ °C, respectivamente (**Figura 50 e Tabela 22**).

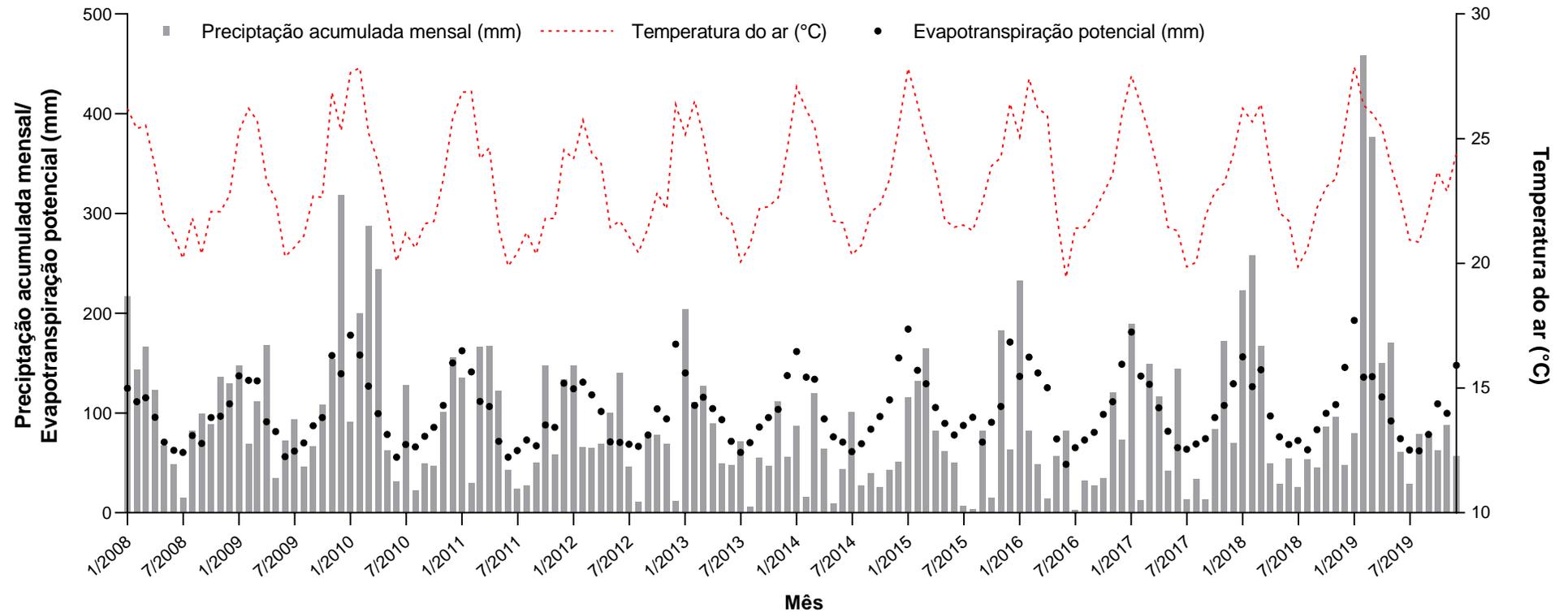
A precipitação acumulada mensal registrou com as estações de verão e inverno (**Figura 50 e Tabela 22**). O verão foi a estação mais chuvosa e janeiro e março foram os meses de maior precipitação, com $139,00 \pm 77,37$ mm e $160,25 \pm 105,80$ mm, respectivamente. O inverno é a estação mais seca com precipitação variando entre 34,27 mm e 61,88 mm, com menor índice pluviométrico ocorrendo em agosto ($34,27 \pm 28,28$ mm).

A Evapotranspiração potencial apresenta variação anual de $64,82 \pm 9,00$ mm em junho a $156,63 \pm 23,87$ mm em janeiro e média anual de $102,55 \pm 33,10$ mm (**Figura 50 e Tabela 22**). Os maiores valores de evapotranspiração potencial ocorrem no verão, quando há maior quantidade de energia solar, sendo o seu pico em janeiro conforme citado anteriormente, e se mantem abaixo de 80,00 mm entre maio e setembro.

A umidade Relativa apresenta -se acima de 70% durante todo ano, com média anual de $77,16 \pm 8,44$ % (**Figura 51 e Tabela 22**). Os meses de verão registram os menores valores de umidade relativa do ar, sendo o menor registrado em fevereiro com $71,83 \pm 15,24$ %, já os maiores valores durante o ano são registrados em maio e novembro com $78,36 \pm 2,46$ % e $80,17 \pm 3,97$ %, respectivamente.

A radiação solar na região também apresenta sazonalidade entre as estações de inverno e verão durante o ano (**Figura 51 e Tabela 22**). Seu maior valor é registrado em fevereiro com $1.619,51 \pm 245,37$ W/m², e o menor em junho com $921,84 \pm 97,99$ W/m². A média anual fica em $1.286,12 \pm 330,91$ W/m².

Figura 49 – Precipitação acumulada mensal (mm), temperatura média do ar (°C) e evapotranspiração potencial (mm) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (Rio de Janeiro – RJ), entre os anos de 2008 e 2019.

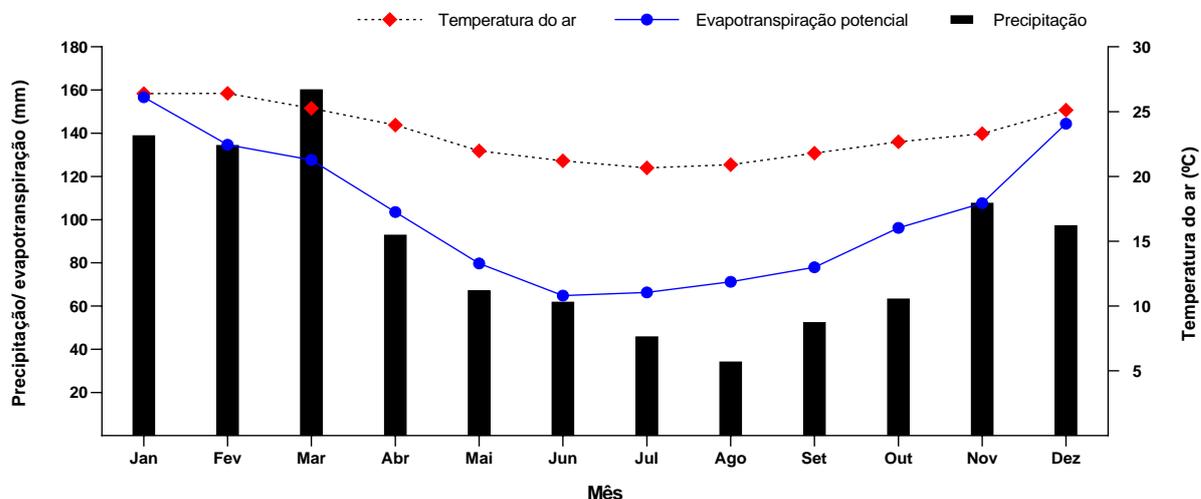


Fonte: O autor, 2022.

Tabela 22 – Valores médios mensais de precipitação acumulada mensal (mm), temperatura média do ar (°C), evapotranspiração potencial (mm), radiação solar (KJ/m²) e umidade relativa do ar (mm) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (Rio de Janeiro – RJ), entre os anos de 2008 e 2019.

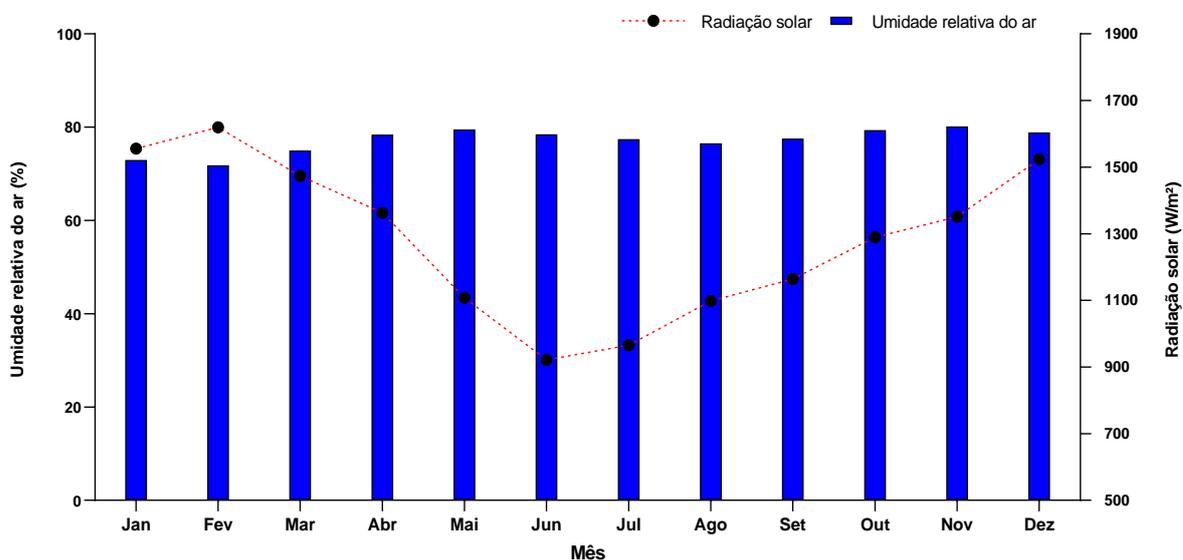
Mês	Precipitação acumulada mensal (mm)	Temperatura do ar (°C)	Evapotranspiração potencial (mm)	Radiação (W/m ²)	Umidade relativa do ar (%)
	<i>Média ± Desvio padrão</i>	<i>Média ± Desvio padrão</i>	<i>Média ± Desvio padrão</i>	<i>Média ± Desvio padrão</i>	<i>Média ± Desvio padrão</i>
Janeiro	139,00 ± 77,37	26,4 ± 1,26	156,63 ± 23,87	888,39 ± 250,13	72,94 ± 13,36
Fevereiro	134,50 ± 135,41	26,4 ± 0,72	134,68 ± 15,04	923,34 ± 215,12	71,83 ± 15,24
Março	160,25 ± 105,80	25,25 ± 0,76	127,61 ± 10,4	760,47 ± 156,06	75 ± 17,71
Abril	92,97 ± 79,62	23,96 ± 0,96	103,48 ± 9,58	671,92 ± 66,68	78,36 ± 6,00
Mai	67,25 ± 47,62	21,98 ± 0,7,00	79,69 ± 8,12	614,31 ± 134,66	79,05 ± 2,46
Junho	61,88 ± 42,82	21,2 ± 1,05	64,82 ± 9,00	630,94 ± 364,39	78,46 ± 3,57
Julho	45,87 ± 49,75	20,67 ± 0,61	66,28 ± 7,65	564,62 ± 168,17	77,44 ± 2,06
Agosto	34,27 ± 28,28	20,91 ± 0,49	71,27 ± 8,84	598,85 ± 74,40	76,54 ± 2,92
Setembro	52,50 ± 27,28	21,79 ± 0,75	77,96 ± 6,58	615,37 ± 123,29	77,52 ± 2,52
Outubro	63,40 ± 40,51	22,67 ± 0,68	96,19 ± 6,47	717,29 ± 62,78	79,37 ± 2,66
Novembro	107,70 ± 55,81	23,30 ± 1,32	107,63 ± 17,58	758,57 ± 161,63	80,17 ± 3,97
Dezembro	97,37 ± 94,29	25,12 ± 1,05	144,42 ± 17,25	808,95 ± 150,15	78,87 ± 3,83

Figura 50 – Valores médios mensais de precipitação acumulada mensal (mm), evapotranspiração potencial (mm) e temperatura (°C) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (RJ), entre os anos de 2008 e 2019.



Fonte: O autor, 2022.

Figura 51 – Valores médios mensais de radiação (W/m^2) e umidade relativa do ar (%) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (RJ), entre os anos de 2008 e 2019.



Fonte: O autor, 2022.

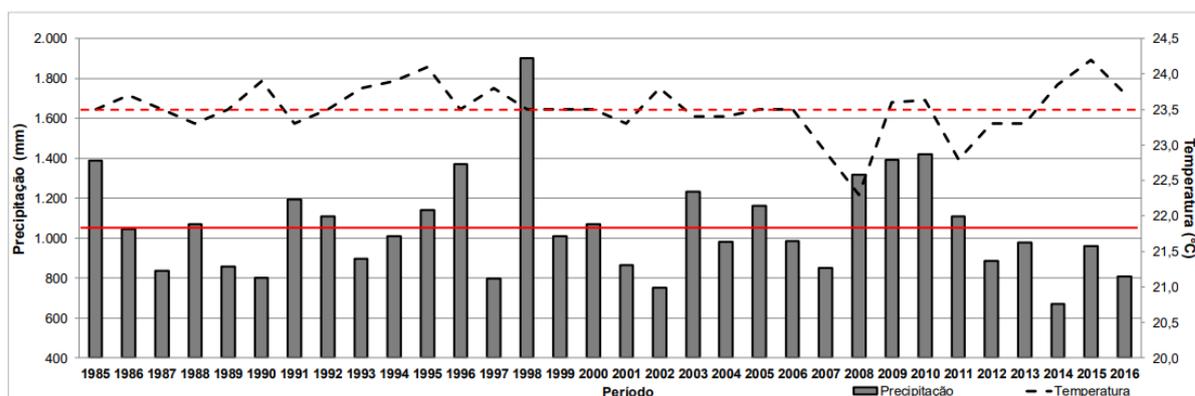
Em Estevam (2019), onde foi realizada análise de dados meteorológicos referentes a uma série histórica de 32 anos (1985 – 2016) de registros na Estação Meteorológica da Marambaia (Guaratiba, Rio de Janeiro – RJ), foram identificados padrões e ciclos ocorridos no período entre 1985 e 2016 e suas relações aos registros de eventos regionais e globais. De

acordo com Estevam (2019) as maiores temperaturas médias mensais são observadas para os meses de janeiro, fevereiro e março, com os valores $26,1 \pm 1,3$ °C, $26,5 \pm 1,0$ °C e $25,6 \pm 0,6$ °C, respectivamente. As menores são registradas nos meses de junho, julho e agosto, com os valores $21,3 \pm 0,9$ °C, $20,9 \pm 0,8$ °C e $21,2 \pm 0,8$ °C, respectivamente. E de acordo com o autor esses dois grupos possuem variações significativas, onde é possível identificar um grupo com temperaturas mais elevadas (janeiro, fevereiro e março) e outro com temperaturas mais baixas (junho, julho agosto e setembro). Em relação ao período analisado no presente estudo (2008 – 2019), as temperaturas médias mensais ocorrem conforme o padrão descrito por Estevam (2019), com os menores valores registrados entre junho e agosto e os maiores entre janeiro e março (**Tabela 22**).

Um aspecto relevante de se destacar é que em Guaratiba a evapotranspiração apresenta valores superiores à precipitação na maior parte do ano (**Figura 50**), reflexo do clima relativamente seco da região, conforme descrito por Estevam (2019). A presença de período seco bem marcado, onde a evapotranspiração é superior à precipitação, como observado no presente estudo, é um fator primordial para a ocorrência e manutenção das planícies hipersalinas (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989; PELLEGRINI, 2000; HADLICH; UCHA; CELINO, 2008; HADLICH; UCHA, 2009; SOARES et al., 2017), observado na região de Guaratiba. As planícies hipersalinas são encontradas nas porções mais internas do manguezal, na interface médio/supra litoral. Resultam da interação entre a frequência de inundação pelas marés e períodos secos bem marcados, quando a evapotranspiração é maior que a precipitação da área (ESTEVAM, 2019).

De acordo com Tomlinson (1986), a precipitação e temperatura são fatores de grande influência para a produção de serapilheira, desta forma, na **Tabela 23** são apresentadas a precipitação acumulada anual e temperatura anual média de 2008 a 2019 e comparações as médias históricas calculadas por Estevam (2019). Em relação à precipitação durante os meses, foi observado por Estevam (2019) que os maiores valores são registrados entre dezembro e março, com médias variando entre $97,2 \pm 74,3$ mm e $138,0 \pm 99,8$ mm, enquanto os menores valores são registrados em junho e agosto, com valores entre $35,8 \pm 25,8$ mm e $60,5 \pm 42,9$ mm. Em relação ao período analisado no presente estudo (2008 – 2019), a precipitação acumulada mensal ocorre de forma parecida com o padrão descrito por Estevam (2019), com maior precipitação registrada entre novembro e março, e menores precipitações entre junho e setembro (**Tabela 22**). De acordo com Estevam (2019) Guaratiba apresenta precipitação média anual de $1.058,9 \pm 253,7$ mm e temperatura anual média $23,5 \pm 0,4$ °C para o período de 35 anos analisados (1985 – 2016) (**Figura 52**).

Figura 52 – Precipitação acumulada anual e temperatura média anual da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (Rio de Janeiro – RJ), entre os anos de 1985 e 2016.



Legenda: A linha vermelha contínua representa a precipitação anual média para o período ($1.058,9 \pm 253,7$ mm) a linha vermelha tracejada representa a temperatura anual média para o período ($23,5 \pm 0,4$ °C).

Fonte: Estevam, 2019.

Tabela 23 – Precipitação acumulada anual (mm) e temperatura média anual (°C) da Estação Meteorológica da Marambaia, Guaratiba (RJ), entre os anos de 2008 e 2019 e sua comparação com as médias históricas de precipitação acumulada anual ($1.058,9 \pm 253,7$ mm) e temperatura anual média ($23,5 \pm 0,4$ °C) descritas por Estevam (2019).

Ano	Precipitação acumulada anual (mm)		Temperatura anual média °C	
	Valor anual	Comparação média histórica Estevam (2019)	Valor anual	Comparação média histórica Estevam (2019)
2008	1319,60	SM	$22,77 \pm 2,04$	IM
2009	1392,05	SM	$23,55 \pm 2,27$	SM
2010	1420,60	SM	$23,44 \pm 2,67$	IM
2011	1108,60	SM	$22,84 \pm 2,49$	IM
2012	885,20	IM	$22,98 \pm 1,93$	IM
2013	978,40	IM	$22,98 \pm 1,95$	IM
2014	630,40	IM	$23,31 \pm 2,24$	IM
2015	961,80	IM	$23,83 \pm 2,22$	SM
2016	809,00	IM	$23,60 \pm 2,47$	SM
2017	1042,60	IM	$23,14 \pm 2,40$	IM
2018	1137,60	SM	$23,37 \pm 2,20$	IM
2019	1688,40	SM	$23,93 \pm 2,19$	SM

Legenda: IM = inferior à média histórica de Estevam (2019); SM= superior à média histórica de Estevam (2019).

Ao analisarmos a série temporal de 12 anos de dados da Estação Meteorológica da Marambaia anualmente (**Tabela 23**) podemos observar que as acumuladas anuais de

precipitação apresentaram valores que variaram de 630,40 mm em 2014 até 1.688,40 mm em 2019. Nota-se que a acumulada de precipitação variou ao longo dos anos, com parte dos anos apresentando volume de chuvas inferior à 1.000,00 mm (2012 a 2016, total de 5 anos). A temperatura média anual variou de $22,77 \pm 2,04$ °C no ano 2008 a $23,93 \pm 2,19$ °C no ano de 2019. Nota-se oscilação ao longo dos anos, com presença de três picos de altas temperaturas registradas entre 2009 e 2010, 2016 e 2019. Além destes anos não é notada a permanência de períodos superiores a três anos com valores tanto acima como abaixo da média.

Em comparação com as médias históricas descritas por Estevam (2019) para Guaratiba, em relação à precipitação acumulada mensal é visto três períodos entre 2008 e 2019, o primeiro (2008 – 2011) com valores superiores, o segundo (2012-2017) com valores inferiores e o terceiro (2018 – 2019) com valores superiores à média de precipitação acumulada anual ($1.058,9 \pm 253,7$ mm). Já para a temperatura anual média é visto um longo período (2010 – 2014) e os anos 2008, 2017 e 2018 de temperaturas inferiores e os anos 2009, 2015, 2016 e 2019 apresentaram temperaturas superiores à média histórica descrita por Estevam (2019). Logo estes resultados foram importantes para analisar a produção de serapilheira nas diferentes condições de disponibilidade hídrica, que conseqüentemente pode ter influência no balanço hídrico de Guaratiba.

4.4.1.2 Balanço hídrico sequencial

Analisando o balanço hídrico sequencial de janeiro de 2008 a dezembro de 2019 na região de Guaratiba (**Figura 53**) nota-se que a região em maior parte do tempo apresentou-se com déficit hídrico, com um período prologando de aproximadamente 7 anos contínuos de deficiência hídrica e baixos valores de armazenamento (julho de 2012 a março de 2019). Curtos períodos de excedente hídrico são vistos, variando de 1 mês a 4 meses contínuos, ocorrendo geralmente no verão.

O monitoramento do balanço hídrico sequencial do presente estudo teve início com um período caracterizado pela manutenção da capacidade de armazenamento em níveis elevados (sempre acima de 40 mm) e redução da deficiência hídrica e muitos momentos com excedente. O ano de 2008 iniciou-se com excedente hídrico (54,4 mm em janeiro), a partir de abril de 2008 o armazenamento é reduzido e inicia-se um período de deficiência hídrica que se estende até outubro de 2008. Em 2009 ocorreram diversas alternâncias entre períodos de

déficit e excedente hídrico e em dezembro desse ano foi registrado o maior pico de excedente hídrico de todo o período monitorado (154,4 mm).

O período com níveis de armazenamento acima de 40 mm prolonga-se até agosto de 2010, reduzindo em fevereiro de 2011. Entre abril de 2011 a setembro de 2012 os valores do armazenamento oscilaram entre 0 mm e 100 mm e depois, por um longo período (outubro de 2012 a outubro de 2017), manteve-se baixo (com picos de no máximo 2 meses contínuos de armazenamento acima de 40 mm). Maiores picos de déficit hídrico também foram vistos neste período, - 133,9 mm em dezembro de 2012 e -119,7 mm em janeiro 2017.

Entre novembro de 2017 e dezembro de 2019 períodos contínuos de mais de 1 mês com armazenamento acima de 40 mm novamente são observados, principalmente entre novembro de 2017 e março de 2018 e de abril de 2019 a novembro de 2019, juntamente com o único pico de excedente hídrico registrado após junho de 2012 (27,1 mm em maio de 2019).

Assim, dos 12 anos analisados no monitoramento do presente estudo, seis apresentaram nenhum mês com excedente hídrico (2013 a 2018), cinco apresentaram pelo menos 1 mês com liberação de água para o sistema (2009 a 2012 e 2019) e apenas um apresentou mais de 3 meses contínuos com excedente hídrico (2008).

A análise das médias mensais do período de estudo (**Figura 54**), permite observar que o balanço hídrico de Guaratiba apresenta-se como uma região com déficit hídrico a maior parte do ano. Os valores médios mensais do balanço hídrico oscilaram de $-36,90 \pm 76,09$ mm para dezembro e $-6,96 \pm 13,11$ mm para abril, não apresentando nenhum mês com média positiva. A partir do teste One Way ANOVA não foi encontrada diferenças significativas entre os meses ($F=1,04174$; $p=0,413794$)

Para o déficit hídrico, os maiores valores ocorreram nos meses de dezembro ($-51,48 \pm 46,66$ mm) e fevereiro ($-37,13 \pm 47,68$ mm), enquanto os menores foram registrados nos meses de junho ($-8,24 \pm 11,38$ mm) e novembro ($-9,51 \pm 19,49$ mm). Já para o excedente hídrico, os maiores valores foram registrados em dezembro ($14,58 \pm 44,43$ mm) e abril ($11,21 \pm 25,51$ mm) e os nulos em agosto, setembro e outubro.

Analisando estatisticamente, não foi possível identificar distinção entre os valores mensais para o excedente hídrico a partir do One-Way ANOVA ($F=0,880625$; $p=0,561004$), diferentemente dos resultados encontrados para o déficit hídrico ($F=2,21526$; $p<0,05$), onde observam-se diferenças significativas a partir do pós-teste de Tukey ($p<0,05$) entre dezembro e os meses de março, junho e novembro.

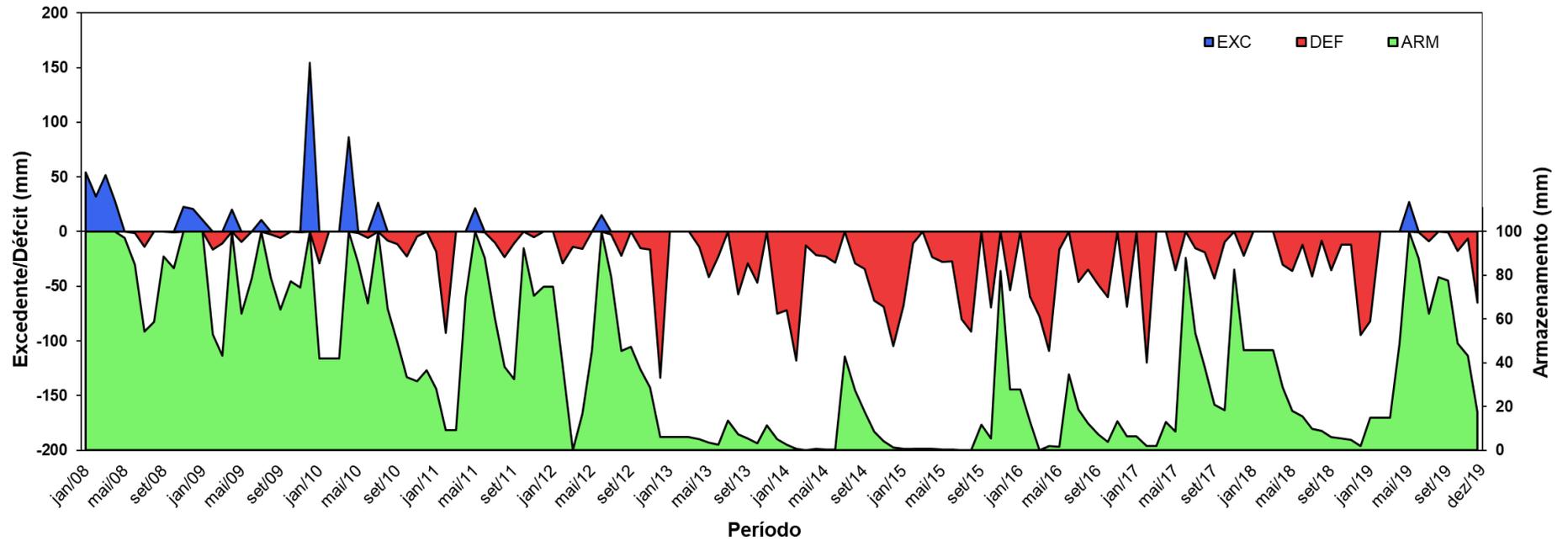
De acordo com Estevam (2013), Estevam (2019) e Souza (2021), a região de Guaratiba, é caracterizada como uma região predominantemente deficitária com baixos

índices pluviométricos registrados nos meses de inverno (período seco bem marcado) e grande variabilidade nos meses de verão (período úmido variável). A sazonalidade da região também é confirmada a partir da análises de ondaleta (ciclos de 1 a 1,2 anos) (ESTEVAM; FERNANDES; GOMES SOARES, 2020). De acordo com Estevam (2019) é percebido um padrão irregular de distribuição das chuvas na região, onde os períodos de excedente/déficit podem variar de intervalos de poucos meses a mais de três anos. Este fato pode estar relacionado às variabilidades interanual ou quinquenal/sexenal observadas nos parâmetros precipitação, armazenamento de água no solo, déficit hídrico e balanço hídrico que apresentam ciclos de 2,4 a 2,6 anos e também ciclos entre 5,3 e 6,4 anos para armazenamento de água no solo, déficit hídrico, excedente hídrico e balanço hídrico.

De acordo com Estevam (2019) o armazenamento de água no solo em Guaratiba variou de $6,3 \pm 3,3$ mm no ano de 2013 e $93,5 \pm 11,9$ mm em 1998, com média histórica anual de $36,9 \pm 33,5$ mm. Quanto ao armazenamento mensal, foi observada uma média geral de $37,0 \pm 34,3$ mm, sendo possível observar que os meses entre maio e novembro apresentam valores acima da média (de 37,2 a 49,9 mm) e os meses de dezembro a abril valores abaixo da média (de 17,8 a 36,2 mm) (ESTEVAM, 2019). Em relação aos valores médios mensais do balanço hídrico, de acordo com Estevam (2019) oscilam de $-40,9 \pm 48,0$ mm para fevereiro e $0,6 \pm 39,0$ mm para maio, sendo este último o único mês com média positiva. No presente estudo (**Figura 54**), todos os meses apresentaram média mensal negativa para o balanço hídrico em Guaratiba.

De acordo com Estevam (2019) a região de Guaratiba apresenta-se, na maior parte do período, sob condições de déficit hídrico com momentos de excedente hídrico apenas nos intervalos entre 1985 e 1988, 1992, 1995 e 1996, de 1998 a 2000, 2003 e 2004 e de 2008 a 2012. Além desses períodos, o presente estudo (**Figura 54**) mostra que em 2019 também ocorreu um pico de excedente hídrico em Guaratiba. Tendo isso em vista, na **Tabela 24** são apresentadas as médias anuais dos parâmetros do balanço hídrico em Guaratiba e sua classificação em relação ao padrão descrito por Estevam (2019). Estas informações foram utilizadas para entender as diferenças entre a produção de serapilheira em anos de baixo estresse hídrico (BEI) - com presença de excedente hídrico e armazenamento de água no solo acima de $36,9 \pm 33,5$ mm – e anos de alto estresse hídrico (AEI) - com predominância de déficit hídrico e armazenamento de água no solo abaixo de $36,9 \pm 33,5$ mm. As análises da produção de serapilheira nas diferentes condições de balanço hídrico são apresentadas no item **4.4.3 Produção em diferentes condições de estresse hídrico.**

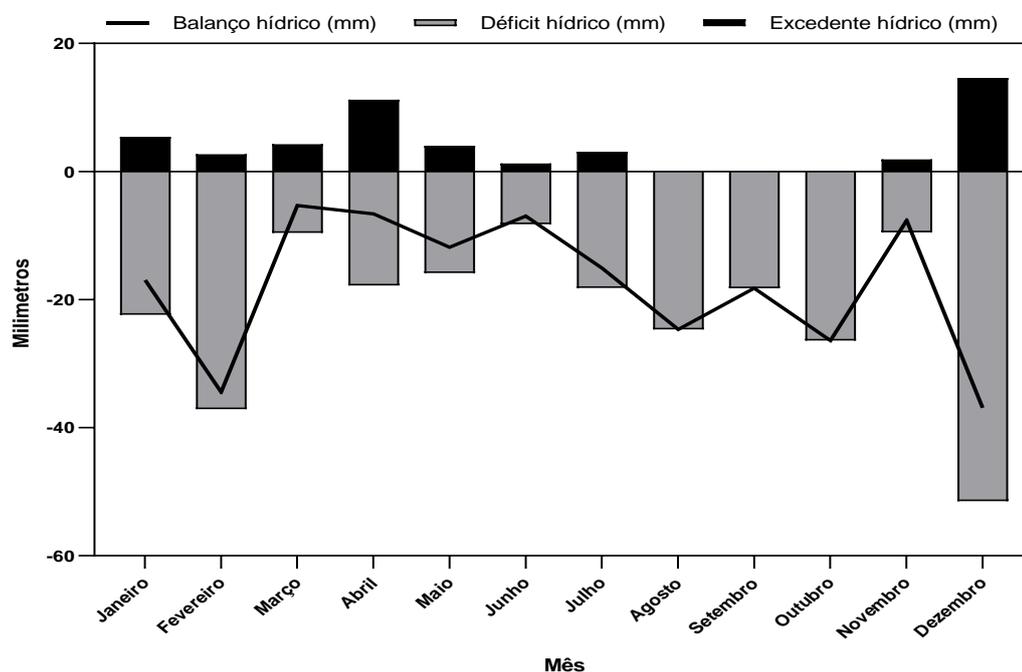
Figura 53 – Balanço hídrico sequencial da região da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RJ) a partir de dados adquiridos da Estação Meteorológica da Marambaia (Rio de Janeiro, RJ), entre janeiro/2008 e dezembro/2019.



Legendas: EXC = excedente de água no solo; DEF = déficit de água no solo; ARM = armazenamento de água no solo.

Fonte: O autor, 2022.

Figura 54 – Médias mensais do balanço, déficit e excedente hídrico a partir de dados obtidos da Estação Meteorológica da Marambaia (RJ) entre 2008 e 2019.



Fonte: O autor, 2022.

Tabela 24 – Classificação das condições do Balanço hídrico da região da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RJ) de 2008 a 2019 conforme as média histórica de armazenamento de água no solo ($36,9 \pm 33,5$ mm) de Estevam (2019) e a presença/ausência de excedente hídrico.

Ano	Déficit hídrico (mm)	Excedente hídrico (mm)	Armazenamento (mm)	Classificação
2008	$-1,37 \pm 4,06$	$17,41 \pm 20,68$	$88,88 \pm 16,43$	BEI
2009	$-3,83 \pm 5,58$	$16,3 \pm 43,98$	$77,67 \pm 19,57$	BEI
2010	$-6,9 \pm 9,73$	$9,43 \pm 25,45$	$57,86 \pm 25,26$	BEI
2011	$-13,4 \pm 26,15$	$1,77 \pm 6,12$	$56,11 \pm 31,77$	BEI
2012	$-20,72 \pm 36,99$	$1,28 \pm 4,45$	$43,34 \pm 29,84$	BEI
2013	$-23,82 \pm 26,18$	0 ± 0	$6,28 \pm 3,26$	AEI
2014	$-47,89 \pm 37,1$	0 ± 0	$8,88 \pm 13,7$	AEI
2015	$-37,63 \pm 33,4$	0 ± 0	$10,85 \pm 23,84$	AEI
2016	$-43,34 \pm 34,55$	0 ± 0	$11,73 \pm 10,86$	AEI
2017	$-22,03 \pm 34,12$	0 ± 0	$31,53 \pm 30,31$	AEI
2018	$-23,41 \pm 26,9$	0 ± 0	$19,66 \pm 17,32$	AEI
2019	$-15,09 \pm 28,06$	$2,26 \pm 7,82$	$50,83 \pm 30,9$	BEI

Legenda: BEI = baixo estresse hídrico; AEI = alto estresse hídrico.

4.4.2 Influência do clima sobre a produção de serapilheira

4.4.2.1 Produção total

Para entender as variáveis climáticas mais importantes na determinação da produção de serapilheira (entende-se por produção total, soma dos compartimentos) no período amostrado, foram feitas regressões entre a produção média diária de serapilheira de cada mês ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) de cada tipo fisiográfico com a precipitação acumulada mensal (mm), radiação (W/m^2), umidade relativa do ar (%), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), evapotranspiração potencial (mm), armazenamento (mm) e balanço hídrico (mm) (déficit/excedente hídrico), utilizando valores mensais. Foram utilizados dados do período agosto/2008 a julho/2009 e janeiro/2016 a dezembro/2019 a fim retirar os anos de forte influência da praga no manguezal de Guaratiba das análises, conforme os resultados obtidos no item **4.3 Produção de Serapilheira no Manguezal de Guaratiba e Fatores Bióticos Associados**, totalizando 60 observações de cada parâmetro. Os resultados das regressões são apresentados na **Tabela 25**.

Tabela 25 – Resultados dos testes de regressões lineares entre os parâmetros climáticos e balanço hídrico (variável independente) e a produção de serapilheira (variável dependente) nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba – RJ. Dados de agosto/2008 a julho/2009 e janeiro/2016 a dezembro/2019.

Parâmetro	n	R ²	a	b	F	p
<i>Franja</i>						
Precipitação acumulada mensal (mm) *	60*	0,12*	2,695127*	0,008928*	9,351*	0,0033*
Radiação (W/m^2)*	60*	0,20*	0,3511263*	0,0026910*	15,66*	<0,001*
Umidade relativa do ar (%)	60	0,02	3,24772	0,00415	0,002131	0,9633
Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) *	60*	0,51*	-11,62974*	0,65092*	63,68*	<0,001*
Excedente hídrico (mm)	60	0,02	3,581393	-0,003627	0,006726	0,9349
Déficit hídrico (mm)	60	0,00	3,418592	-0,007294	0,7041	0,4048
Armazenamento (mm)	60	0,01	3,767079	-0,004949	0,4045	0,5273
Balanço hídrico (mm)	60	0,01	3,445904	-0,006588	0,6477	0,4242
Evapotranspiração potencial (mm) *	60*	0,45*	-0,592078*	0,040418*	50,32*	<0,001*

Tabela 25 – Continuação.

Parâmetro	n	R ²	a	b	F	p
<i>Bacia</i>						
Precipitação acumulada mensal (mm) *	60*	0,17*	1,827217*	0,005174*	13,14*	<0,001*
Radiação (W/m ²)*	60*	0,22*	0,6265752*	0,0014278*	18,02*	<0,001*
Umidade relativa do ar (%)	60	0,02	3,14874	-0,01030	0,05206	0,8203
Temperatura do ar (°C) *	60*	0,51*	-5,26326*	0,32538*	62,3*	<0,001*
Excedente hídrico (mm)	60	0,02	2,344624	-0,004111	0,03423	0,8539
Déficit hídrico (mm)	60	0,00	2,234790	-0,004777	1,206	0,2767
Armazenamento (mm)	60	0,01	2,457925	-0,003110	0,6351	0,4287
Balanço hídrico (mm)	60	0,00	2,251504	-0,004375	1,14	0,29
Evapotranspiração potencial (mm) *	60*	0,47*	0,214148*	0,020592*	53*	<0,001*
<i>Transição</i>						
Precipitação acumulada mensal (mm) *	60*	0,08*	2,135876*	0,005200*	6,149*	0,0161*
Radiação (W/m ²)*	60*	0,19*	0,4241996*	0,0018565*	15,05*	<0,001*
Umidade relativa do ar (%)	60	0,02	2,505770	0,001807	0,0008225	0,9772
Temperatura do ar (°C) *	60*	0,42*	-7,04165*	0,41483*	44,22*	<0,001*
Excedente hídrico (mm)	60	0,02	2,642474	0,003069	0,009801	0,9215
Déficit hídrico (mm)	60	0,02	2,575279	-0,003406	0,3104	0,5796
Armazenamento (mm)	60	0,01	2,757210	-0,002805	0,2637	0,6095
Balanço hídrico (mm)	60	0,01	2,591259	-0,002912	0,2558	0,6150
Evapotranspiração potencial (mm) *	60*	0,37*	-0,004346*	0,025730*	36,02*	<0,001*

*Resultados significativos (p<0,05)

As regressões entre a produção de serapilheira com a temperatura do ar e precipitação acumulada mensal foram significativas para os três tipos fisiográficos. As regressões foram positivas em todos os casos, indicando que altas temperaturas e maior pluviosidade favorecem o aumento da produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba. Para a temperatura do ar os melhores ajustes ocorreram nas florestas de franja e bacia (R²=0,51) e para a precipitação acumulada mensal nas florestas de bacia (R²=0,17).

As regressões entre a produção de serapilheira e a umidade relativa do ar não foram significativas em nenhum dos tipos fisiográficos. A produção de serapilheira apresentou regressão significativa positiva com a radiação para os três tipos fisiográficos, indicando que a radiação favorece o aumento da produção de serapilheira, o melhor ajuste ocorreu na bacia (R²=0,22). A evapotranspiração potencial apresentou resultados significativas positivos em

todos os tipos fisiográficos com melhores ajuste na bacia ($R^2=0,47$) e franja ($R^2=0,45$), comportamento parecido com a temperatura do ar. O balanço hídrico e suas variáveis (excedente hídrico, déficit hídrico e armazenamento) não apresentaram correlação significativa com a produção de serapilheira para nenhum dos três tipos fisiográficos.

Em Machado (2014), foram realizadas análises de regressões para entender as variáveis climáticas mais importantes na determinação da produção de serapilheira, utilizando dados mensais de agosto de 2008 a junho de 2012. Para a precipitação acumulada mensal os resultados foram significativos apenas na bacia e na transição (MACHADO, 2014), porém os resultados do presente estudo (**Tabela 25**) mostram que os resultados são significativos e positivos em todos os tipos fisiográficos. A radiação apresentou regressões significativas positivas com a produção de serapilheira para os três tipos fisiográficos em Machado (2014), o que também foi constatado no presente estudo (**Tabela 25**). Em Machado (2014) as regressões entre a umidade relativa do ar e a produção de serapilheira não foram significativas para nenhum tipo fisiográfico, entretanto, o que também foi constatado no presente estudo (**Tabela 25**). Os resultados das regressões entre a temperatura do ar e radiação com a produção de serapilheira são significativos e positivos tanto em Machado (2014), como no presente estudo (**Tabela 25**).

De acordo com Machado (2014), o balanço hídrico não apresentou correlação significativa com a produção de serapilheira para nenhum dos três tipos fisiográficos, com tendência de relação negativa para as florestas de franja, porém positiva para as florestas de bacia e de transição. No presente estudo também não foram encontrados resultados significativos, e a tendência da relação é negativa em todas as áreas (**Tabela 25**).

Considerando a influência dos fatores climáticos sobre a produção de serapilheira, nota-se que tais fatores refletem a sazonalidade da produção vista no manguezal de Guaratiba, de maiores produções no verão e menores no inverno. Relações positivas com a produção total de serapilheira foram encontradas para as florestas de franja, bacia e transição (**Tabela 25**) e as variáveis climáticas precipitação acumulada mensal, temperatura do ar, radiação e evapotranspiração potencial, que apresentam valores elevados durante os meses de verão (**Figura 50 e Figura 51**).

Williams *et al.* (1981) indicaram que os principais fatores que influenciam a variabilidade interanual em seu estudo sobre a produtividade de manguezal a longo prazo, seriam: a temperatura do ar, o fluxo do rio, a precipitação total e a salinidade da água intersticial. Bernini e Rezende (2010) encontraram baixos coeficientes de determinação entre a produção total e precipitação, temperatura média do ar e velocidade do vento. Lopez-Portilho e Ezcurra (1985),

consideraram a relação entre a produção de serapilheira e flutuações sazonais no nível médio do mar, insolação, temperatura e evaporação. Esses fatores, de acordo com os autores, foram altamente relacionados à variação sazonal da produção de serapilheira, explicando 82% da variação da produção.

Day *et al.* (1996) tiveram como objetivos descrever os padrões espaciais e sazonais, e determinar a influência dos seguintes fatores ambientais: salinidade, precipitação, temperatura na produção primária líquida. Tais autores analisaram a variação espacial e temporal da produção primária líquida aérea em três zonas de bacia e franja, e em todas as zonas foi identificada a variação sazonal. Os padrões de longo prazo na salinidade, a precipitação e a temperatura explicaram 74% da variação na produção. A partir da modelagem da produção de serapilheira utilizando as variáveis climáticas temperatura, precipitação, velocidade do vento, radiação solar incidente, umidade relativa e taxa de evaporação realizado no Centro-Oeste da Índia por Wafar *et al.* (1997), calculou-se a queda de serapilheira das derivadas da equação, relacionando a estas variáveis climáticas. Os resultados mostram que vento e a precipitação foram os melhores preditores da produção.

As regressões múltiplas realizadas por Arreola-Lizárraga *et al.* (2004) indicaram a pluviosidade média, o nível do mar e o balanço hídrico como as variáveis ambientais mais importantes, que explicaram 86% da variação da produção sazonal de serapilheira. Considerando o manguezal de Guaratiba, a temperatura do ar e a evapotranspiração foram as variáveis que apresentaram maiores coeficientes de determinação nas regressões, conforme os resultados apresentados na **Tabela 25**, de 42% a 52% para a temperatura do ar e 37% a 47% para a evapotranspiração potencial. Entretanto, estes resultados indicam que estas variáveis não explicam sozinhas a produção e que há outros fatores não considerados nessas análises que são relevantes no controle da produção de serapilheira em Guaratiba.

A partir dessas informações, foram testadas regressões múltiplas entre a produção de serapilheira ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) (variável dependente) e as variáveis climatológicas com resultados significativos conforme a **Tabela 25** (precipitação acumulada mensal, radiação, temperatura do ar e evapotranspiração potencial), denominado Modelo-I. Foram utilizados dados do período agosto/2008 a julho/2009 e janeiro/2016 a dezembro/2019 a fim retirar os anos de forte influência da praga no manguezal de Guaratiba das análises, conforme os resultados obtidos no item **4.3.1** Os resultados obtidos são mostrados a seguir.

Para as florestas de franja, o Modelo-I de regressão múltipla apresentou resultados significativos ($F = 15,55$ e $P < 0,001$) com $R^2\text{-multiplo}=0,5307$ e $R^2\text{-ajutado}=0,4966$, com a seguinte equação:

$$\text{Prod. Serapilheira (g.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}) = -12,27 + 0,001268\text{PAM} - 0,0004929\text{RAD} + 0,7044\text{TEM} - 0,01426\text{EVA}$$

Onde,

PAM = Precipitação acumulada mensal (mm)

RAD= Radiação (W/m²)

TEM = Temperatura média do ar (°C)

EVA=Evapotranspiração potencial (mm)

Para as florestas de bacia, o Modelo-I de regressão múltipla apresentou resultados significativos (F= 15,82 e P < 0,001) com R²-multiplo=0,5350 e R²-ajutado=0,5011, com a seguinte equação:

$$\text{Prod. Serapilheira (g.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}) = -4,124 + 0,001703\text{PAM} - 0,00002423\text{RAD} + 0,2577\text{TEM} + 0,002934\text{EVA}$$

Onde,

PAM = Precipitação acumulada mensal (mm)

RAD= Radiação (W/m²)

TEM = Temperatura média do ar (°C)

EVA=Evapotranspiração potencial (mm)

Para as florestas de transição, o Modelo-I de regressão múltipla apresentou resultados significativos (F = 10,52 e P < 0,001) com R²-multiplo=0,4335 e R²-ajutado=0,3923, com a seguinte equação:

$$\text{Prod. Serapilheira (g.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}) = -7,487 + 0,0003878\text{PAM} - 0,00005453\text{RAD} + 0,4442\text{TEM} - 0,002066\text{EVA}$$

Onde,

PAM = Precipitação acumulada mensal (mm)

RAD= Radiação (W/m²)

TEM = Temperatura média do ar (°C)

EVA=Evapotranspiração potencial (mm)

Como a evapotranspiração é dependente da precipitação e da temperatura, posteriormente foram testadas regressões múltiplas entre a produção de serapilheira (g.m⁻².dia⁻¹) (variável dependente) e as variáveis climatológicas (variáveis independentes) com resultados significativos conforme os resultados da **Tabela 25 com exclusão da evapotranspiração potencial** (precipitação acumulada mensal, radiação e temperatura do ar), denominado Modelo-II. Os resultados obtidos são mostrados a seguir.

Para as florestas de franja, o Modelo-II de regressão múltipla apresentou resultados significativos (F = 21,10 e P < 0,001) com R²-multiplo=0,5306 e R²-ajutado=0,5055, com a seguinte equação:

$$\text{Prod. Serapilheira (g.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}) = -11,194 + 0,001271\text{PAM} - 0,0005004\text{RAD} + 0,6846\text{TEM}$$

Onde,

PAM = Precipitação acumulada mensal (mm)
 RAD= Radiação (W/m²)
 TEM = Temperatura média do ar (°C)

Para as florestas de bacia, o Modelo-II de regressão múltipla apresentou resultados significativos (F = 21,39 e P < 0,001) com R²-multiplo=0,5340 e R²-ajutado=0,5090, com a seguinte equação:

$$\text{Prod. Serapilheira (g.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}) = -4,790 + 0,001696\text{PAM} - 0,000008871\text{RAD} + 0,2984\text{TEM}$$

Onde,

PAM = Precipitação acumulada mensal (mm)
 RAD= Radiação (W/m²)
 TEM = Temperatura média do ar (°C)

Para as florestas de transição, o Modelo-II de regressão múltipla apresentou resultados significativos (F = 14,27 e P < 0,001) com R²-multiplo =0,4333 e R²-ajutado=0,4029, com a seguinte equação:

$$\text{Prod. Serapilheira (g.m}^{-2}\text{.dia}^{-1}) = -7,018 + 0,0003926\text{PAM} - 0,00006534\text{RAD} + 0,4155\text{TEM}$$

Onde,

PAM = Precipitação acumulada mensal (mm)
 RAD= Radiação (W/m²)
 TEM = Temperatura média do ar (°C)

Os resultados dos modelos são apresentados na **Tabela 26**. A partir dos resultados das regressões múltiplas é visto que tanto para com o Modelo-I como para o Modelo-II, os melhores ajustes ocorreram nas florestas de bacia, seguido das florestas de franja. Analisando os resultados, observa-se que ao relacionar as variáveis independentes com a produção de serapilheira nos modelos propostos, a relação entre elas pode ser considerada moderada, uma vez que o resultado foi de R²-ajustado=0,4966 nas florestas de franja, e R²-ajustado=0,5011 nas florestas de bacia para o Modelo-I; e R²-ajustado=0,5055 nas florestas de franja, e R²-ajustado=0,5090 nas florestas de bacia para o Modelo-II de variáveis independentes. É possível que existam variáveis independentes que não estão sendo consideradas no modelo proposto, como a salinidade intersticial, desenvolvimento estrutural e composição das espécies em cada zona, além de possível influência dos efeitos da praga mesmo com a filtragem dos dados. Por outro lado, o teste de variância aponta que os modelos propostos são

úteis para explicar a produção de serapilheira, visto que o valor-P foi $< 0,001$ nessas duas áreas para ambos os modelos de variáveis independentes. Entretanto as regressões para as florestas de franja e bacia no Modelo-II apresentam valores de R^2 -ajustado levemente elevados quando comparados ao Modelo-I.

Tabela 26 – Resultados das regressões múltiplas dos modelos I e II entre a produção de serapilheira nos tipos fisiográficos (variável dependente) e as variáveis climatológicas (variáveis independentes) no manguezal de Guaratiba.

Tipo fisiográfico	Modelo	F	R^2 ajustado	R^2 - múltiplo	p
Franja	I	15,55	0,4966	0,5307	$< 0,001$
	II	21,10	0,5055	0,5306	$< 0,001$
Bacia	I	15,82	0,5011	0,5350	$< 0,001$
	II	21,39	0,5090	0,5340	$< 0,001$
Transição	I	3,204	0,3923	0,4335	$< 0,001$
	II	10,52	0,4029	0,4333	$< 0,001$

Legenda: Modelo-I – Variável dependente: produção de serapilheira ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e Variáveis independentes: precipitação acumulada mensal (mm), radiação (W/m^2), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e evapotranspiração potencial (mm).

Modelo-II – Variável dependente: produção de serapilheira ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e Variáveis independentes: precipitação acumulada mensal (mm), radiação (W/m^2) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Nas florestas de transição os resultados dos modelos propostos são significativos, entretanto com menores ajustes quando comparados a franja e bacia (R^2 -ajustado = 0,3923 no Modelo-I e R^2 -ajustado = 0,4029 no Modelo-II), evidenciando ainda mais a influência da frequência de inundações pelas marés nestas áreas, que conseqüentemente tornam essas áreas de maior estresse hídrico, influenciado pela salinidade do solo, além de possível influência do processo de amadurecimento em andamento nessas áreas conforme discutido no item **4.1.2 Produção de serapilheira relacionada ao gradiente de inundação pelas marés**. Os resultados mostram que a precipitação acumulada mensal, radiação, e temperatura do ar (Modelo-II) explicam melhor a produção de serrapilheira nas florestas de mangue de Guaratiba, de acordo com R^2 -ajustado, além de excluir a variável evapotranspiração potencial que é dependente de outras variáveis presente no modelo.

Machado (2014), analisando a influência das variáveis climáticas e a produção de serapilheira em Guaratiba, gerou regressões múltiplas entre a produção de serapilheira e a temperatura do ar e precipitação acumulada mensal. Os resultados foram significativos em todas as áreas da floresta, com $R^2=0,4659$ nas florestas de franja, $R^2=0,3994$ nas florestas de

bacia e $R^2= 0,5452$ nas florestas de transição. Quando comparado ao Modelo-II do presente estudo, observamos melhores ajustes nas florestas de franja e bacia, entretanto em Machado (2014) o ajuste na transição ($R^2=0,5452$) é maior que resultado encontrado no presente estudo ($R^2=0,4029$). Todavia, deve-se considerar que o n amostral de meses observado por Machado (2014) foi menor (48 meses) em relação ao presente estudo (60 meses), e ainda em um período onde ocorria um evento de praga de lagartas no manguezal de Guaratiba (ESTRADA, 2013), onde a transição foi a área mais afetada, o que pode ser a razão destas diferenças entre os estudos. Além disso, em Machado (2014) a radiação não é considerada pela autora, conforme o presente estudo.

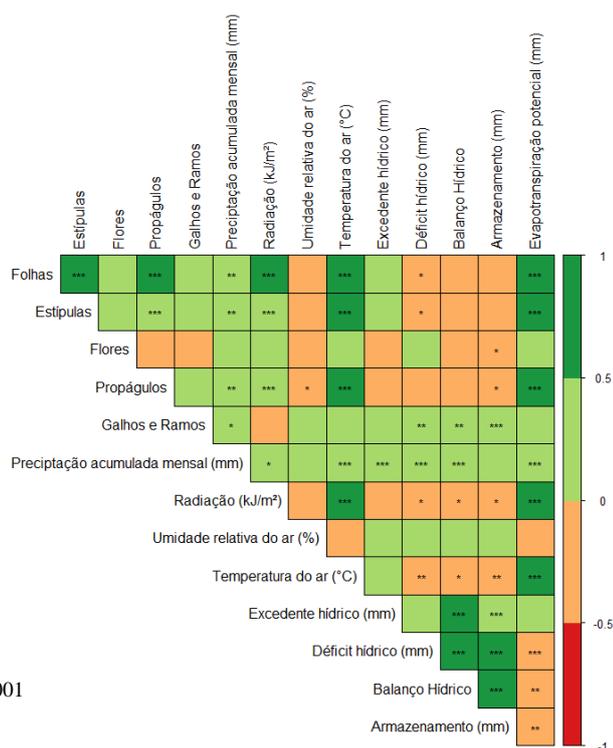
De acordo com Krauss *et al.* (2008) e Machado (2014) há gradientes de estresse adicionais a considerar, como o efeito da herbivoria de insetos afetando a planta hospedeira ao longo de diferentes gradientes de nutrientes, inundações e salinidade. Em Guaratiba esses estresses adicionais são aspectos importantes a serem considerados, pois mesmo os fatores mais influentes para a produção de serapilheira encontrados no presente estudo, como temperatura e precipitação, não explicam totalmente a produção, indicando a influência de outros fatores sobre a produção de serapilheira. No entanto, deve-se salientar que a serapilheira é composta por frações de diferentes proporções e que a separação das mesmas é importante para averiguar suas relações com as variáveis climáticas. As relações entre os compartimentos da serapilheira e as variáveis climáticas e do balanço hídrico são analisadas a seguir.

4.4.2.2 Produção dos compartimentos

A partir da matriz de correlação realizada entre os compartimento da serapilheira das florestas de franja e as variáveis climáticas e do balanço hídrico (**Figura 55**), é visto que o compartimento folhas apresenta correlação significativa positiva com precipitação acumulada mensal ($r = 0,24$ e $p < 0,01$), radiação ($r = 0,51$ e $p < 0,001$), temperatura do ar ($r = 0,74$ e $p < 0,001$), evapotranspiração potencial ($r = 0,74$ e $p < 0,001$), produção de propágulos ($r = 0,58$ e $p < 0,001$) e estípulas ($r = 0,58$ e $p < 0,001$); e correlação negativa com déficit hídrico ($r = -0,20$ e $p < 0,05$). A produção de propágulos também se correlaciona de forma positiva significativa com precipitação acumulada mensal ($r = 0,24$ e $p < 0,01$), radiação ($r = 0,39$ e $p < 0,001$), temperatura do ar ($r = 0,59$ e $p < 0,001$), evapotranspiração potencial ($r = 0,52$ e $p < 0,001$) e estípulas ($r = 0,35$ e $p < 0,001$); e se correlaciona de forma negativa significativa com

a umidade relativa do ar ($r = -0,19$ e $p < 0,05$) e armazenamento hídrico ($r = -0,20$ e $p < 0,05$). O compartimento galhos e ramos apresentou correlação significativa com precipitação acumulada mensal ($r = 0,18$ e $p < 0,05$), déficit hídrico ($r = 0,22$ e $p < 0,01$), balanço hídrico ($r = 0,23$ e $p < 0,01$) e armazenamento hídrico ($r = 0,32$ e $p < 0,001$) de forma positiva. A produção de estípulas segue o padrão encontrado para folhas, correlações positivas com precipitação acumulada mensal ($r = 0,24$ e $p < 0,01$), radiação ($r = 0,44$ e $p < 0,001$), temperatura do ar ($r = 0,64$ e $p < 0,001$) e evapotranspiração potencial ($r = 0,66$ e $p < 0,001$); e negativa com déficit hídrico ($r = -0,18$ e $p < 0,05$). A produção de flores exibiu correlação significativa negativa com armazenamento hídrico ($r = -0,19$ e $p < 0,05$).

Figura 55 – Matriz de correlação da produção dos compartimentos da serapilheira das florestas de franja e as variáveis climáticas e balanço hídrico do manguezal Guaratiba (RJ). As correlações negativas (<0) são apresentadas na cor vermelha e laranja e as correlações positivas (>0) são apresentadas em verde claro e escuro.

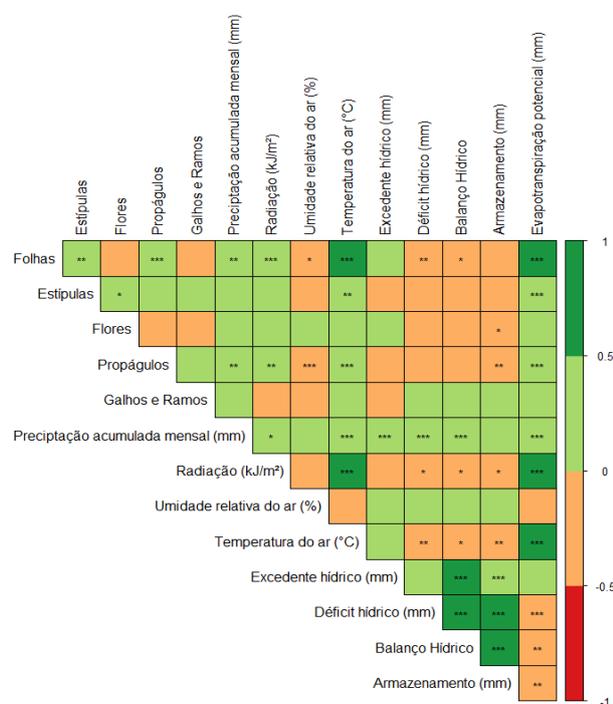


Legenda: (Nível de sig.) * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ e *** $p < 0,001$
 Fonte: O autor, 2022.

Nas florestas de bacia, a partir da matriz de correlação realizada entre os compartimentos da serapilheira e as variáveis climáticas e do balanço hídrico (**Figura 56**), é visto que o compartimento folhas apresenta correlação positiva com precipitação acumulada mensal ($r = 0,22$ e $p < 0,01$), radiação ($r = 0,45$ e $p < 0,001$), temperatura do ar ($r = 0,72$ e $p < 0,001$), evapotranspiração potencial ($r = 0,71$ e $p < 0,001$), produção de propágulos ($r = 0,48$ e

$p < 0,001$) e produção de estípulas ($r = 0,24$ e $p < 0,01$); e se correlaciona de forma negativa significativa com a umidade relativa do ar ($r = -0,19$ e $p < 0,05$), déficit hídrico ($r = -0,24$ e $p < 0,001$) e balanço hídrico ($r = -0,19$ e $p < 0,05$). A produção de propágulos também se correlaciona de forma positiva significativa com precipitação acumulada mensal ($r = 0,27$ e $p < 0,01$), radiação ($r = 0,29$ e $p < 0,001$), temperatura do ar ($r = 0,46$ e $p < 0,001$) e evapotranspiração potencial ($r = 0,39$ e $p < 0,001$); e se correlaciona de forma negativa significativa com a umidade relativa do ar ($r = -0,40$ e $p < 0,001$) e armazenamento hídrico ($r = -0,24$ e $p < 0,001$). O compartimento galhos e ramos não apresenta correlações significativas com nenhuma das variáveis do clima e balanço hídrico e compartimentos da serapilheira. A produção de estípulas apresenta correlações positivas com a temperatura do ar ($r = 0,27$ e $p < 0,001$), evapotranspiração potencial ($r = 0,28$ e $p < 0,001$) e produção de flores ($r = 0,21$ e $p < 0,05$). A produção de flores exibiu correlação significativa negativa com armazenamento hídrico ($r = -0,17$ e $p < 0,05$).

Figura 56 – Matriz de correlação da produção dos compartimentos da serapilheira das florestas de bacia e as variáveis climáticas e balanço hídrico do manguezal Guaratiba (RJ). As correlações negativas (<0) são apresentadas na cor vermelha e laranja e as correlações positivas (>0) são apresentadas em verde claro e escuro.

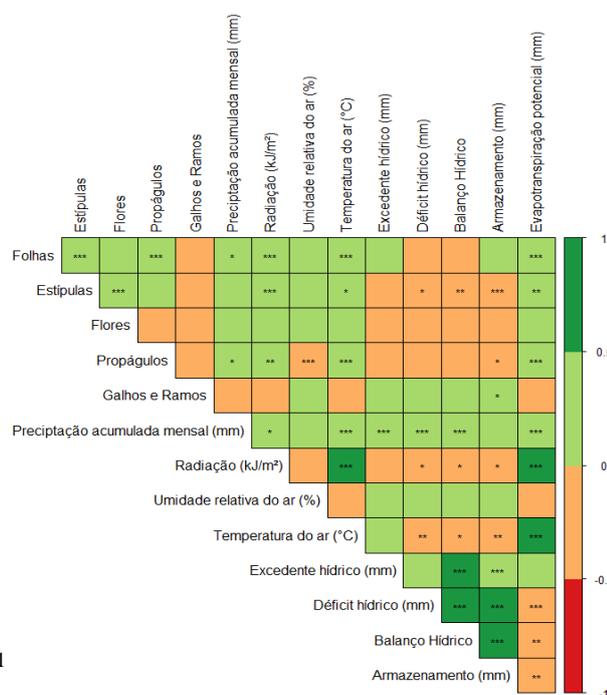


Legenda: (Nível de sig.) * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ e *** $p < 0,001$
 Fonte: O autor, 2022.

Nas florestas de transição, a partir da matriz de correlação realizada entre os compartimentos da serapilheira e as variáveis climáticas e do balanço hídrico (Figura 57), é

visto que o compartimento folhas apresenta correlação positiva com precipitação acumulada mensal ($r = 0,22$ e $p < 0,01$), radiação ($r = 0,45$ e $p < 0,001$), temperatura do ar ($r = 0,72$ e $p < 0,05$), evapotranspiração potencial ($r = 0,71$ e $p < 0,001$), produção de propágulos ($r = 0,48$ e $p < 0,001$) e produção de estípulas ($r = 0,24$ e $p < 0,001$). A produção de propágulos também se correlaciona de forma positiva significativa com precipitação acumulada mensal ($r = 0,27$ e $p < 0,01$), radiação ($r = 0,29$ e $p < 0,01$), temperatura do ar ($r = 0,46$ e $p < 0,001$) e evapotranspiração potencial ($r = 0,39$ e $p < 0,001$); e se correlaciona de forma negativa significativa com a umidade relativa do ar ($r = -0,40$ e $p < 0,001$) e armazenamento hídrico ($r = -0,24$ e $p < 0,05$). O compartimento galhos e ramos apresenta correlação significativa positiva com o armazenamento ($r = -0,24$ e $p < 0,05$). A produção de estípulas apresenta correlações positivas com radiação ($r = 0,24$ e $p < 0,001$), temperatura do ar ($r = 0,27$ e $p < 0,001$), evapotranspiração potencial ($r = 0,28$ e $p < 0,01$) e produção de flores ($r = 0,21$ e $p < 0,001$). A produção de flores não exibiu nenhuma correlação significativa com as variáveis do clima e balanço hídrico.

Figura 57 – Matriz de correlação da produção dos compartimentos da serapilheira das florestas de transição e as variáveis climáticas e balanço hídrico do manguezal Guaratiba (RJ). As correlações negativas (<0) são apresentadas na cor vermelha e laranja e as correlações positivas (>0) são apresentadas em verde claro e escuro.



Legenda: (Nível de sig.) * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ e *** $p < 0,001$
 Fonte: O autor, 2022.

Considerando separadamente os compartimentos que compõe a produção de serapilheira, sabendo que há predominância de folhas durante a maior parte do tempo e conforme os resultados das correlações apresentadas na **Figura 55**, **Figura 56** e **Figura 57**. Pode-se dizer que as folhas determinam o padrão geral da produção de serapilheira, de maiores produções no verão, juntamente com as produções de estípulas e propágulos que também apresentam correlações positivas com a temperatura do ar, radiação, precipitação acumulada mensal e evapotranspiração potencial, fatores que apresentam valores elevados entre novembro e março no manguezal de Guaratiba, com correlações mais fortes nas florestas de franja e bacia. Corroborando os melhores ajuste nas áreas de franja e bacia, visto anteriormente quando analisada a produção total de serapilheira (**Tabela 25**).

A precipitação acumulada mensal apresenta coeficiente de correlação semelhantes para a produção de folhas e propágulos nas florestas de franja, maior para propágulos nas florestas de bacia e maior para folhas nas florestas de transição, não havendo, portanto, um padrão comum a todas as zonas. A umidade relativa do ar apresenta maior coeficiente de correlação com a produção de propágulos nas florestas de bacia (**Figura 56**), de forma negativa. A evapotranspiração potencial tem padrão regido pela temperatura do ar, com maiores correlações nas florestas de franja e bacia com os compartimentos folhas, propágulos e estípulas (**Figura 55**, **Figura 56**), o que justifica os resultados obtidos para a produção total de serapilheira (**Tabela 25**).

O balanço hídrico apresentou correlação significativa positiva com a produção de galhos e ramos nas florestas de franja, correlações negativas com a produção de folhas nas florestas de bacia e estípulas nas florestas de transição. Considerando o déficit hídrico, nas florestas de franja a produção de folhas e estípulas apresentaram correlações negativas para este parâmetro, nas florestas de bacia somente estípulas apresentou correlação negativa com o déficit hídrico, enquanto nas florestas de transição a correlação foi significativa somente com a produção de estípulas. O excedente hídrico não apresentou correlação significativa com os compartimentos da serapilheira. Considerando o armazenamento de água no solo, nas florestas de franja observam-se correlações significativas negativas com a produção de flores e propágulos e positivas com a produção de galhos e ramos. Nas florestas de bacia o armazenamento também apresentou correlações significativas negativas com a produção de flores e propágulos, porém não foram observadas correlações significativas com a produção de galhos e ramos, como observado para as florestas de franja. Já nas florestas de transição foram observadas correlações significativas positivas entre o armazenamento e a produção de

galhos e ramos, e também correlações significativas negativas com as produções de estípulas e propágulos.

A disponibilidade hídrica é descrita na literatura como um dos fatores mais importantes para a produção de serapilheira em manguezais. Altos valores de serapilheira refletem a baixa salinidade da água intersticial, a disponibilidade de nutrientes e o clima favorável (temperatura e precipitação) da região (LUGO; TWILLEY; PATTERSON-ZUCCA, 1980; ODUM; HEALD, 1975a; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975; TWILLEY; LUGO; PATTERSON-ZUCCA, 1986). A alta produção relacionada à disponibilidade de água doce é coerente com diversos estudos encontrados na literatura sobre sazonalidade, que relataram maior produção nos meses de verão (ADAIME, 1985; CHAVES, 2007; FERNANDES, 1997). A maior produção nesses meses pode estar relacionada à pluviosidade, que interfere no armazenamento hídrico e nutrientes (WAFAR; UNTAWALE; WAFAR, 1997).

De acordo com Adaime (1985), o aumento da incidência solar nos meses de verão poderia levar ao aumento da produção de tecidos fotossintéticos pela floresta e consequente eliminação das folhas velhas e com mais toxinas, aumentando assim a queda de folhas. O que talvez ocorra em Guaratiba, devido às altas quedas de folhas estarem relacionadas com altas temperaturas e radiação solar, juntamente com a produção de estípulas nos meses de verão.

Arreola-Lizárraga *et al.* (2004) encontraram produção de folhas ocorrendo o ano todo, o que também é visto em Guaratiba e comum em manguezais de todo o mundo. Entretanto, estes autores relatam queda de galhos, flores e propágulos no verão, quando observada maior pluviosidade. Comparando com os resultados do presente estudo, mesmo os resultados das correlações sendo significativos e de forma positiva apenas nas florestas de bacia entre a precipitação acumulada mensal e a produção de propágulos, os dados mensais (**Figura 25**, **Figura 26** e **Figura 27**) mostram que as maiores produções deste compartimento ocorrem nos meses de maior pluviosidade em todas as áreas. As flores em Guaratiba apresentam dois picos produtivos, um entre fevereiro e abril, com maior precipitação e temperaturas, e outro entre setembro e novembro, com menor precipitação e temperatura, tendo o mês de outubro com os maiores valores de produção deste compartimento. Essas informações indicam que a produção de folhas independe de maior pluviosidade conforme visto em Arreola-Lizárraga *et al.* (2004), respondendo à fenologia das espécies de mangue, porém apresentam possível influência da quantidade de água armazenada no solo.

Wafar *et al.*, (1997) mostram que a queda da maior parte dos componentes ocorre em dois picos, nos períodos pré e pós-moções. De acordo com tais autores, esses resultados são

explicados de acordo com o balanço hídrico, em que a ocorrência dos dois picos de produção seria um efeito de um período seco seguido por um de alta disponibilidade hídrica. O período de pré-moções é caracterizado por condições secas e quentes, que associadas à alta salinidade provocam a necessidade de uma redução da densidade da copa, o que ainda é reforçado pelos fortes ventos característicos desse período. Durante as moções, a produção de serapilheira é baixa, pois já não há mais serapilheira a cair. Em seguida, há um período de crescimento de novas folhas, causado por um aumento do fornecimento de nutrientes e água doce. Com o tempo de vida de três a cinco meses, a senescência de tais folhas pode causar o segundo pico de produção do ano no período das pós-moções

No estudo realizado por Bernini e Rezende (2010) no manguezal do estuário do Rio Paraíba do Sul, a maior queda de flores foi registrada na estação chuvosa, o que difere do padrão visto em Guaratiba, devido as maiores produções serem registradas em outubro, no período seco. De acordo com os autores, a maior produção de frutos ocorre entre o final da estação chuvosa e início da estação seca para *L. racemosa* e na estação chuvosa nas florestas de *A. germinans* e *R. mangle*. Em Guaratiba as maiores produções de propágulos são registradas na estação chuvosa, sendo condizendo com os resultados de Bernini e Rezende (2010), entretanto, no presente estudo não foram realizadas análises por espécies para observar os comportamento individualizado, tendo em vista que um estudo aprofundado sobre o comportamento deste compartimento no manguezal de Guaratiba foi realizado por Cardoso (2014).

Em Guaratiba a produção de propágulos também ocorre conforme Fernandes *et al.*, (2007), Mehlig (2006), Wafar *et al.*, (1997) e Pool *et al.*, (1975). Fernandes *et al.*, (2007) identificaram um padrão para a produção de frutos, apresentando sincronia com o período chuvoso, o que pode propiciar a dispersão dos propágulos e sementes das espécies de mangue por hidrocoria. Conforme apresentado na **Figura 20** a produção de propágulos apresentou grandes variações nos tipos fisiográficos do manguezal de Guaratiba durante os anos de estudo, entretanto altas produções são registradas em 2012, 2016, 2017 e 2018, anos em que ocorrem picos de armazenamento de água no solo (**Figura 53**). A alta produção de propágulos no período de chuva, encontrada por Fernandes *et al.*, (2007), é observada por outros autores (CARDOSO; CHAVES; SOARES, 2015; MACHADO, 2014; MEHLIG, 2006; POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975; WAFAR; UNTAWALE; WAFAR, 1997). De forma geral, essa tendência relaciona-se à alta demanda energética para a produção das estruturas reprodutivas, que se torna mais favorável em períodos de menor estresse hídrico (POOL; LUGO; SNEDAKER, 1975). A maior queda de flores e frutos nas estações chuvosas pode refletir

uma adaptação ao ambiente inundado, através da sincronia entre a dispersão de estruturas reprodutivas e momentos em que os níveis de água são mais favoráveis (JIMÉNEZ; SAUTER, 1991).

4.4.3 Produção em diferentes condições de estresse hídrico

Na **Figura 58** é apresentado graficamente o balanço hídrico sequencial de Guaratiba e a produção média diária de serapilheira nos tipos fisiográficos entre os anos de 2008 e 2019. A produção de serapilheira ocorre em onze picos durante o período amostrado, em que os valores são mais elevados nos meses de verão (**Figura 58**), segundo o padrão sazonal já discutido anteriormente em Machado (2014), Pereira (2018) e no item **4.2**.

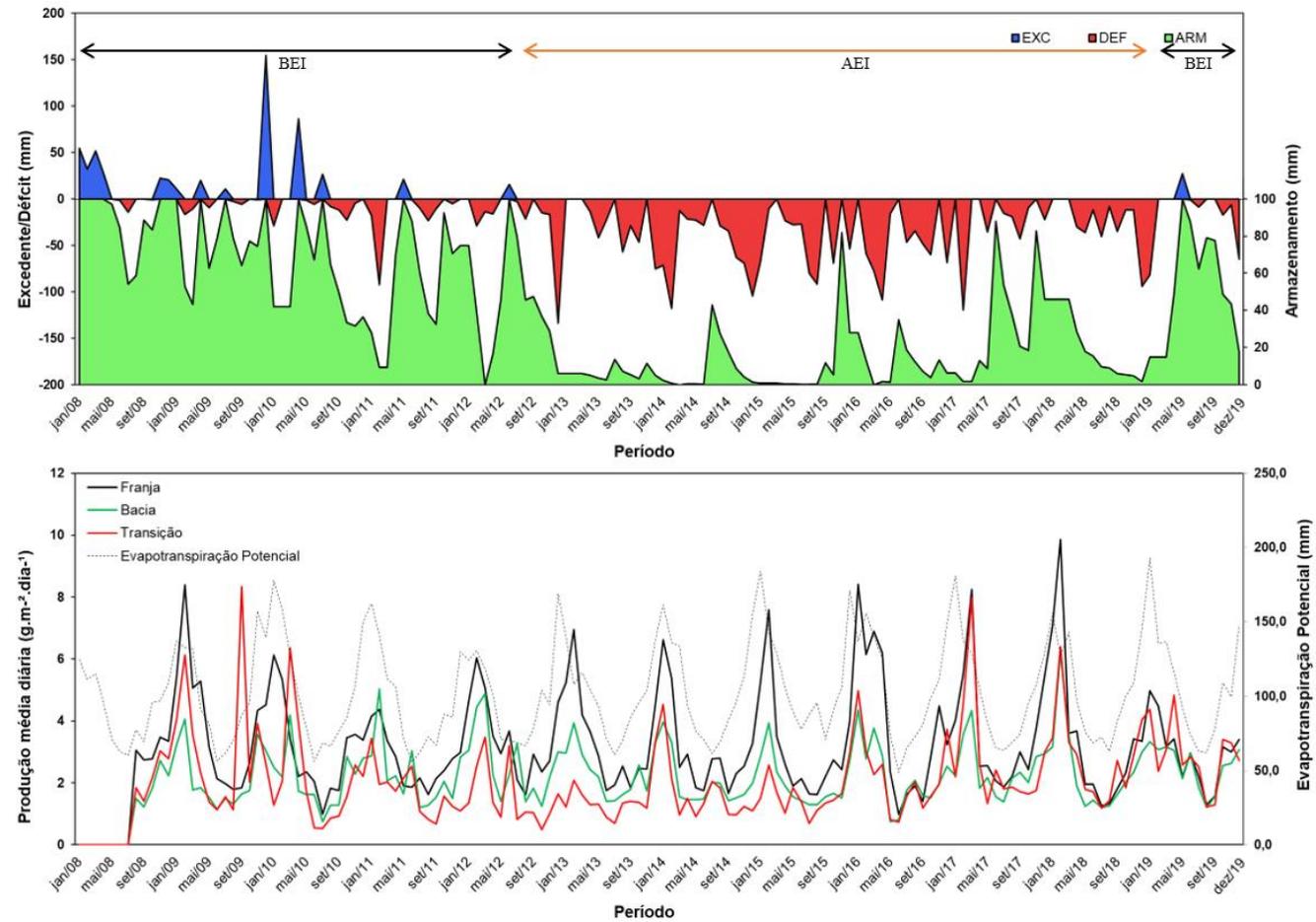
A comparação gráfica entre o balanço hídrico sequencial e a produção de serapilheira apresenta alguns pontos importantes. Alguns picos de produção de serapilheira ocorrem em conjunto com picos, de diferentes intensidades, de excedente hídrico, como em 2009, 2010, 2011, 2012 e 2019. Nota-se que a ocorrência de altas produções de serapilheira nos verões de 2013 a 2018 independem de excedente hídrico e armazenamento de água no solo acima de 40 mm por períodos prolongados. Assim, há picos de produção que parecem estar relacionados ao balanço hídrico, mas por outro lado, há uma tendência geral que não é guiada apenas por esse parâmetro, já que em alguns períodos a produção de serapilheira não pode ser explicada pelo balanço hídrico apenas. Além disso, de acordo com os resultados apresentados no item **4.4.2** o balanço hídrico e suas variáveis (excedente hídrico, déficit hídrico e armazenamento) não apresentaram correlações significativas com a produção total de serapilheira para nenhum dos tipos fisiográficos, e os parâmetros climáticos com resultados significativos não explicam totalmente a produção de serapilheira. Mostrando a importância de fatores como a herbivoria e fenologia na avaliação temporal da serapilheira.

Entretanto, afim de analisar possíveis diferenças da produção de serapilheira em períodos de baixo estresse hídrico (BEI) - com presença de excedente hídrico e armazenamento de água no solo acima de $36,9 \pm 33,5$ mm - e anos de alto estresse hídrico (AEI) - com predominância de déficit hídrico e armazenamento de água no solo abaixo de $36,9 \pm 33,5$ mm, conforme os resultados obtidos na **Tabela 24** a seguir são apresentados o resultados do Teste t para a produção de serapilheira total e seus compartimentos em período de BEI e AEI, com dados da produção média anual ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) para os tipos fisiográficos

franja (**Tabela 27**), bacia (**Tabela 28**) e transição (**Tabela 29**). É importante destacar que o período de BEI tem forte influência de efeitos da praga de lagartas que ocorreu em 2009/2010 no manguezal, não sendo possível a exclusão de anos sobre efeitos da praga.

A partir do Teste t, utilizando-se os dados de produção média mensal de agosto de 2008 a dezembro de 2019 nas florestas de franja (**Tabela 27**), foram encontradas diferenças significativas das produções de flores ($t=2,9688$ e $p < 0,05$) e galhos e ramos ($t= -2,2581$ e $p < 0,001$) entres os períodos de BEI e AEI identificados para Guaratiba, com maiores produções no período de AEI para flores e no período de BEI para galhos e ramos. A produção de propágulos não apresentou diferenças significativas entre os períodos ($t=2,1181$ e $p = 0,06323$), entretanto a média do período de AEI é maior do que o período BEI. A produção de folhas e estípulas também não apresentaram diferenças significativas entre os períodos e as médias não variam conforme a produção de propágulos entre os períodos. A produção total de serapilheira não apresenta diferenças entre os períodos nas florestas de franja do manguezal de Guaratiba ($t=0,68573$ e $p=0,5102$).

Figura 58 – Balanço hídrico sequencial da região de Guaratiba entre agosto de 2008 e julho de 2019 (gráfico superior). Produção média diária total ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$) entre agosto/2008 e dezembro/2019 para os três tipos fisiográficos: franja, bacia e transição (gráfico inferior).



Legenda: EXC=Excedente de água no solo (mm); DEF=Déficit hídrico (mm); ARM=Armazenamento de água no solo (mm); BEI = Baixo estresse hídrico; AEI = Alto estresse hídrico.

Fonte: O autor, 2022.

Tabela 27 – Resultados obtidos a partir do Teste t onde foi testada à similaridade da produção média anual de serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) em períodos de BEI e AEI nas florestas de franja do manguezal de Guaratiba-RJ.

Compartimento	t	df	p	Média AEI	Média BEI
Folhas	0,3844	9	0,7096	7,187	6,988
Estípulas	0,6778	9	0,5150	0,707	0,684
Flores*	2,9688*	9*	0,0157*	0,418*	0,310*
Propágulos	2,1181	9	0,0632	2,783	1,822
Galhos e ramos*	-2,2581*	9*	0,0503*	1,032*	1,652*
Total	0,6857	9	0,5102	12,413	11,840

Legenda: BEI = Baixo estresse hídrico; AEI = Alto estresse hídrico. * Resultados significativos ($p < 0,05$).

Nas florestas de bacia do manguezal de Guaratiba, a partir do Teste t (**Tabela 28**) foram encontradas diferenças significativas somente da produção de flores ($t=2,6886$ e $p < 0,05$) com maiores produções no período de AEI. A produção de estípulas ($t=1,4534$ e $p=0,1801$) e galhos e ramos ($t= -2,0941$ e $p=0,06575$) não apresentaram diferenças entre os períodos de BEI e AEI identificados para Guaratiba, com maiores produções no período de AEI para estípulas e no período de BEI para galhos e ramos. A produção de propágulos não apresentou diferenças significativas entre os períodos ($t=1,9241$ e $p=0,0865$), entretanto a média do período de AEI é maior do que o período BEI. A produção de folhas não apresentou diferença significativa entre os períodos e as médias não variam conforme visto na produção de propágulos entre os períodos. A produção total de serapilheira não apresenta diferenças entre os períodos nas florestas de bacia do manguezal de Guaratiba ($t=-0,4427$ e $p=0,6684$).

Tabela 28 – Resultados obtidos a partir do Teste t onde foi testada à similaridade da produção média anual serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) em períodos de BEI e AEI nas florestas de bacia do manguezal de Guaratiba-RJ.

Compartimento	t	df	p	Média AEI	Média BEI
Folhas	0,24757	9	0,7810	5,605	5,460
Estípulas	1,4534	9	0,1801	0,475	0,390
Flores*	2,6886*	9*	0,0248*	0,177*	0,098*
Propágulos	1,9241	9	0,0865	0,798	0,450
Galhos e ramos	-2,0941	9	0,0657	0,897	1,774
Total	0,4427	9	0,6684	8,391	8,172

Legenda: BEI = Baixo estresse hídrico; AEI = Alto estresse hídrico. * Resultados significativos ($p < 0,05$).

Nas florestas de transição do manguezal de Guaratiba, a partir do Teste t (**Tabela 29**) foram encontradas diferenças significativas das produções de galhos e ramos ($t = -2,7969$ e $p < 0,05$) entres os períodos de BEI e AEI identificados para Guaratiba, com maiores produções no período de BEI. As produções de estípulas ($t = 1,3914$ e $p = 0,1975$) e flores ($t = 1,7859$ e $p = 0,1078$) não apresentaram diferenças significativas entre os períodos, apresentando maiores produções no período de AEI. A produção de propágulos não apresentou diferenças significativas entre os períodos ($t = 1,1049$ e $p = 0,2979$), entretanto a média do período de AEI é maior do que o período BEI. A produção de folhas não apresentou diferença significativa entre os períodos, com maior média no período AEI. A produção total de serapilheira não apresenta diferenças entre os períodos nas florestas de transição do manguezal de Guaratiba ($t = -1,0288$ e $p = 0,3304$).

Tabela 29 – Resultados obtidos a partir do Teste t onde foi testada à similaridade da produção média anual serapilheira ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$) em períodos de BEI e AEI nas florestas de transição do manguezal de Guaratiba-RJ.

Compartimento	t	df	p	Média AEI	Média BEI
Folhas	0,3959	9	0,7014	5,538	4,976
Estípulas	1,3914	9	0,1975	0,105	0,050
Flores	1,7859	9	0,1078	0,198	0,112
Propágulos	1,1049	9	0,2979	0,797	0,478
Galhos e ramos*	-2,7969*	9*	0,02082*	0,723*	2,630*
Total	-1,0288	9	0,3304	7,566	8,967

Legenda: BEI = Baixo estresse hídrico; AEI = Alto estresse hídrico. * Resultados significativos ($p < 0,05$).

Os resultados do Teste t para verificar as diferenças das produções entre o período AIE e BEI mostram que para a produção total de serapilheira não há diferença entre os períodos em nenhum tipo fisiográfico. Entretanto, é visto diferenças significativas da produção de flores entre os períodos em todas as florestas de franja e bacia, com maiores produções no período AEI. Para galhos e ramos também é visto diferenças significativas da produção entre os períodos na franja e transição, com maiores produções em todos os tipos fisiográficos no período BEI.

As maiores produções de flores no período de AEI podem ter influência da mudança no balanço hídrico em Guaratiba como também ser uma resposta da praga de lagartas ocorrida entre 2009 e 2019, além do amadurecimento da floresta. A reprodução e o crescimento vegetativo das plantas além de ser influenciados pela sazonalidade climática, podem variar

por influência de fatores climáticos que exercem mudanças nos padrões fenológicos em comunidades vegetais (BENEVIDES; MAIA; DA SILVA, 2021; DE ALVARENGA; BOTOSSO; SOFFIATTI, 2017; RICHARDSON et al., 2013; SONGSOM et al., 2019; TANG et al., 2015; WOODROFFE, 1982). Observando a **Figura 23** é visto que o aumento de flores ocorreu logo após o evento de herbívora relatado para Guaratiba, indicando a produção de flores como um dos possíveis mecanismo de recuperação da floresta frente a eventos de desfolhação severa. Entretanto, esse aumento na produção também pode ser um mecanismo dos indivíduos em condições de alto estresse hídrico, que é visto em quase toda metade e final da série temporal (2012 a 2018), o que torna difícil a separação desses dois fatores, a praga de lagartas e estresse hídrico através desse tipo de análise.

As maiores produções de estípulas no período de AEI, também podem estar relacionadas aos dois fatores (praga de lagartas e balanço hídrico). De acordo com diversos estudos, estípulas são bioindicadoras de produção de folhas (BORGES, 2010; CUNHA; TOGNELLA-DE-ROSA; COSTA, 2006; GARCÍA-HANSEN et al., 2002; NASCIMENTO et al., 2006). O que pode ser uma resposta da floresta frente à praga de lagartas e ao alto estresse hídrico, com esforço para a produção de novas folhas. Além disso, pode estar ocorrendo influência da estrutura do manguezal no aporte de estípulas, pois, árvores de maior desenvolvimento produzem maior biomassa de estípulas quando comparadas às árvores de menor desenvolvimento (FARIAS; FERNANDES; REIS, 2006; FLORES-VERDUGO; DAY JW; BRISENO-DUENAS, 1987; WOODROFFE et al., 1988), o que acarretaria na maior produção desse compartimento nas florestas de bacia e transição de Guaratiba, no tempo com aumento do desenvolvimento estrutural.

Conforme relatado por Estrada *et al.* (2013) e Machado (2014) em Guaratiba ocorreu um evento de praga com herbivoria preferencial sobre a espécie *A. schaeuriana* entre 2009 e 2010, ocorrendo no período de BEI em Guaratiba de acordo com o balanço hídrico. Neste período foi visto aumento da produção de galhos e ramos, com posterior diminuição em 2013 (**Figura 21**), trazendo a possibilidade destas diferenças entre os períodos BEI e AEI estarem sendo mascaradas pelo efeito da praga na floresta, que ocorre em grande parte no período de BEI. De acordo com Fernandes e Scaramuzza (2007) e Moura *et. al* (2016), estudos da fração galhos e ramos são dificultados por não haver uma padronização das dimensões de sua queda, como ocorrem para as folhas. Pinto *et. al* (2008) atrelam a presença de ramos na serapilheira a eventos bióticos e abióticos anteriores à sua queda. Eventos bióticos, como a herbivoria, levam a respostas postergadas da queda de galhos e ramos por um período maior de tempo, como as altas produções de galhos e ramos registradas entre 2010 e 2013, enquanto

os eventos abióticos (como rajadas de vento) geram respostas imediatas à causa, tornando o padrão de queda de ramos de baixa correlação com as variáveis climáticas, devido a sobreposição de fatores. Essa alta produção de galhos no período de BEI pode ser uma resposta direta à praga de lagartas no manguezal de Guaratiba, sendo um possível resposta indireta do balanço hídrico. Visto que a presença de excedente hídrico e altos valores de armazenamento hídrico podem ter propiciado melhores condições para a proliferação da praga de lagartas entre 2009 e 2010.

Segundo Santos *et al.*, (2006) as interações entre o clima, a água e o solo são complexas e incluem vários processos biológicos, físicos e químicos, de modo que a água desempenha papel essencial na manutenção e preservação das condições vitais da vegetação. A importância do balanço de água para os sistemas é também descrito por outros autores (ALLEMAN; HESTER, 2011; ALMEIDA, 2010; CARDOSO; CHAVES; SOARES, 2015; ELLISON; FARNSWORTH, 1993; ESTEVAM, 2013; ESTEVAM; FERNANDES; GOMES SOARES, 2020; JIMÉNEZ, 1990; KRAUSS *et al.*, 2007, 2008; LANDSBERG, 1984; POOL; SNEDAKER; LUGO, 1977; SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 1990). Os fatores climatológicos, por seus efeitos sobre a atmosfera, o solo e corpos, são considerados estressores abióticos que atuam diretamente sobre o desenvolvimento dos sistemas vegetais (LARCHER; DE ASSIS PRADO, 2000). A disponibilidade e distribuição da água no sistema (no tempo e no espaço) têm efeitos diretos sobre a sobrevivência, habilidades competitivas e padrões de crescimento das plantas em regiões úmidas (WOOD, 2005).

Períodos de menor estresse hídrico em Guaratiba, com altos valores de armazenamento de água no solo e excedente hídrico, poderiam propiciar menor valores de salinidade devido maiores quantidade de água no ecossistema. Estudos da interação entre luz e salinidade mostram que a taxa de alocação de biomassa aumenta com a maior irradiação, em baixa salinidade, porém permanecem baixas em alta salinidade (KRAUSS *et al.*, 2008). De acordo com Chaves (2007), quanto maiores os valores de salinidade da água intersticial, menor a produção de folhas e propágulos na serapilheira. Coronado-Molina *et al.*, (2012) também demonstraram que a salinidade intersticial afeta os padrões espaciais da queda de serapilheira, onde a queda de serapilheira foi inversamente relacionada à salinidade intersticial. Twilley *et al.* (1986) também relataram uma relação inversa entre a produção de serapilheira e a salinidade do solo. Os níveis de tolerância à salinidade influenciam não somente nas formas de crescimento das plantas, mas também em suas habilidades competitivas, inter e intraespecíficas (BALL, 1988).

Em Guaratiba, a produção total de serapilheira não apresentou diferenças significativas entre os períodos de AEI e BEI em nenhuma zona. Porém, nas florestas de transição, zona onde ocorrem os maiores valores de salinidade da água intersticial, a média da produção entre os períodos BEI e AIE mostrou-se elevada no período de BEI (**Tabela 29**). Indicando possível influência do baixo estresse hídrico nesta zona. Machado (2014), ao analisar a produção de serapilheira diz que picos de produção parecem estar relacionados ao balanço hídrico, mas por outro lado, há uma tendência geral que não é guiada apenas por esse parâmetro. O que torna a praga em Guaratiba relatada por Estrada(2013) e Machado (2014) entre 2009 e 2010 um fator importante a ser considerado. Mesmo os resultados em Guaratiba não sendo significativos para as diferenças da produção de propágulos entre os períodos de AEI e BEI, as maiores médias de biomassa de propágulos produzidas no período de alto estresse hídrico combinado com o efeito da praga em Guaratiba, mostram a resiliência deste ecossistema. Segundo Tomlison (1986) a regeneração de manguezais degradados depende das possibilidades de aporte de propágulos e sobrevivência de plântulas, visto que a capacidade de propagação vegetativa das espécies de mangue é limitada. A regeneração da vegetação de mangue é um dos processos básicos na resposta desses ecossistemas aos impactos (CAPOTE-FUENTES; LEWIS, 2004; CARDOSO, 2014; MENÉNDEZ, 2000).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No manguezal de Guaratiba a produção de serapilheira, quando analisada de forma espacial, apresenta maiores valores nas florestas de franja, seguido das florestas de bacia e transição. As florestas de franja desta região apresentam maiores produções de serapilheira quando comparadas a florestas de franja e ribeirão de localidades de maiores/menores latitudes no Brasil. Ao analisar a contribuição por compartimentos, observamos a predominância na contribuição de folhas em todos os tipos fisiográficos seguido de galhos e ramos e propágulos.

A análise dos dados demonstra que para o balanço global de serapilheira no manguezal de Guaratiba, as diferentes taxas de produção observadas nos tipos fisiográficos são compensadas pela área ocupada por cada uma dessas florestas, o que faz com que regionalmente os manguezais de bacia e transição possuam maior contribuição para a produção total de serapilheira, que os manguezais de franja.

A produção de serapilheira em Guaratiba se mostrou condicionada pelo gradiente de inundações pelas marés, através dos efeitos deste na salinidade da água intersticial e desenvolvimento estrutural da floresta. Os resultados mostram que há diferenças significativas segundo os tipos fisiográficos (franja e demais tipos fisiográficos para a produção de serapilheira; diferença entre todos os tipos fisiográficos para a salinidade da água intersticial) indicando indiretamente a influência da frequência de inundações pelas marés na serapilheira do manguezal de Guaratiba. Entretanto, conforme foi relatado, estes resultados explicam de forma indireta essas relações. Com análises de dependência entre a produção de serapilheira em Guaratiba (variável dependente) e dados da microtopografia local e salinidade da água intersticial (variáveis independentes) demonstrando de forma mais robusta essas afirmações:

- a) A produção média anual de serapilheira apresentou regressão significativa com a salinidade intersticial média anual da água intersticial com tendência de relação negativa.
- b) As regressões entre a produção média histórica de serapilheira e os parâmetros microtopográficos (distância do corpo hídrico e elevação) apresentaram regressões não significativas, ambas com relação negativa
- c) As regressões não significativas foram àquelas baseadas em valores médios, portanto com baixo número amostral.

d) É de se esperar que as estações de franja, que estão cerca de $42,83 \pm 22,90$ m do rio Piracão, sejam lavadas com maior frequência pelas marés que as estações de transição que se encontram cerca de $260,06 \pm 12,95$ m do rio Piracão.

Adicionalmente, o manguezal de Guaratiba apresenta gradiente de desenvolvimento estrutural no sentido Franja-Bacia-Transição diretamente relacionado à redução na frequência de inundação pelas marés e ao incremento da salinidade da água intersticial. São registrados maiores valores de altura média e DAP médio na franja, com redução em direção à planície hipersalina, com a densidade de troncos apresentando comportamento oposto. Com isso, as análises entre a produção de serapilheira e os parâmetros estruturais das florestas mostraram também a influência da frequência de inundação pelas marés na produção de serapilheira, sendo de extrema importância e corroborando as análises realizadas com a salinidade e microtopografia:

- a) O resultado da regressão entre o DAP médio e a produção média histórica de serapilheira indica relação positiva entre os parâmetros, ou seja, quanto maior o DAP médio, maior é a produção de serapilheira.
- b) O resultado da regressão entre a altura média e a produção média anual de serapilheira indica relação positiva entre os parâmetros, ou seja, quanto maior a altura média das árvores de mangue, maior é a produção de serapilheira.
- c) O resultado da regressão entre a densidade e a produção média anual de serapilheira indica relação negativa entre os parâmetros, ou seja, quanto maior a densidade, menor é a produção de serapilheira

A partir desses resultados é possível afirmar que há influência da frequência de inundação pelas marés na produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba de forma positiva, ou seja, áreas mais próximas do rio Piracão (florestas de franja e bacia) apresentam maior frequência de inundação, conseqüentemente menor salinidade e maior desenvolvimento estrutural acarretando em maior produção de serapilheira em relação a áreas mais distantes do rio Piracão, com maior salinidade e menor desenvolvimento estrutural (florestas de transição).

Adicionalmente, a produção de serapilheira pode ser influenciada pela composição das espécies em cada zona, que variam conforme a salinidade e o rigor ambiental, apresentando diferentes disponibilidade de biomassa. No presente estudo foi visto que nem sempre a produção de serapilheira irá seguir a contribuição em área basal pelas espécies, sendo

importante o cálculo de biomassa foliar disponível em cada estação. A regressão entre a contribuição de folhas e contribuição em biomassa foliar apresenta melhor ajuste quando comparada a regressão da contribuição de folhas com a contribuição em área basal como variável independente. Entretanto quando considerado os dois fatores (contribuição em área basal e biomassa foliar) é visto um melhor ajuste com a contribuição de folhas:

- a) O resultado da regressão entre a Contribuição em área basal (%) e a Contribuição de folhas na serapilheira (%) indica relação positiva entre os parâmetros, ou seja, quanto maiores os valores em área basal viva pelas espécies, maiores são os valores de folhas na produção de serapilheira.
- b) A regressão entre a Contribuição em biomassa foliar (%) com a Contribuição de folhas na serapilheira (%) também apresentou tendência positiva, porém com maior ajuste.
- c) Quando considerado a Contribuição em área basal e biomassa foliar a partir de regressão múltipla, com a contribuição de folhas na serapilheira como variável dependente obtemos regressão múltipla significativa, com melhor ajuste em relação as regressões individualizadas citadas anteriormente.

As análises temporais, que consideraram as diferenças espaciais (tipos fisiográficos), foram de extrema importância para entender as relações entre a produção de serapilheira e fatores abióticos como a variáveis climáticas e balanço hídrico, e abióticos como herbivoria. Considerando a produção média anual de serapilheira (2009 a 2019) em uma comparação espaço-temporal a produção máxima de serrapilheira foi na floresta de franja no ano de 2016 e a produção mínima no ano de 2013 no tipo fisiográfico transição. As maiores produções registradas em cada ano no manguezal de Guaratiba ocorreram sempre no tipo fisiográfico franja, enquanto as florestas de transição, em maior parte da série temporal, apresentaram as menores produções, entre os anos 2010 e 2016. As análises por compartimentos mostraram que essas variações foram fortemente influenciadas pela produção de folhas, propágulos e galhos e ramos.

A partir da análise de transformada de Ondaleta é visto que as florestas de transição não apresentam ciclo sazonal (período de Fourier de 12 meses) em toda a série temporal conforme visto para as florestas de franja e bacia, sendo este ciclo visto somente no final da série. Também foram identificados ciclos de 6-8,5-6 e 4-5 meses que variam entre os tipos fisiográficos. Ciclos maiores que 12 meses não foram identificados, justificado pela série de dados ser considerada pequena para este tipo de análise. Entretanto a não ocorrência de ciclo

sazonal durante toda a série no tipo fisiográfico transição se mostra interessante visto que essas florestas são localizadas em zona de maior rigor ambiental, conseqüentemente menor desenvolvimento estrutural e mudança na composição de espécies conforme o tempo.

A partir da produção de serapilheira durante os meses, considerando a produção média diária ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), foi visto que há um padrão oscilatório sazonal para os compartimentos folhas, propágulos e estípulas, que apresentam maiores produções entre dezembro e março (verão) e menores produções nos meses de junho a setembro (inverno). O compartimento galhos e ramos não apresenta sazonalidade expressiva, porém tanto para as florestas de franja e bacia seu valor máximo registrado durante o ano é em fevereiro, já para o tipo fisiográfico transição é registrado em junho. As flores apresentaram dois picos produtivos para todos os tipos fisiográficos, um entre fevereiro e abril e outro entre setembro e novembro, tendo o mês de outubro com os maiores valores de produção deste compartimento. A produção total acompanha o comportamento dos compartimentos de maior contribuição percentual para a serapilheira, apresentando picos de produção em fevereiro nas florestas de franja e bacia, e em março na transição.

Considerando a influência dos fatores climáticos sobre a produção de serapilheira, nota-se que tais fatores refletem a sazonalidade da produção vista no manguezal de Guaratiba, de maiores produções no verão e menores no inverno conforme os seguintes resultados:

- a) Em Guaratiba a precipitação acumulada mensal, temperatura do ar, radiação e evapotranspiração potencial apresentam valores elevados durante os meses de verão.
- b) Regressões positivas significativas da produção total de serapilheira foram encontradas para as florestas de franja, bacia e transição com as variáveis climáticas precipitação acumulada mensal, temperatura do ar, radiação e evapotranspiração potencial.
- c) Pode-se dizer que o compartimento folhas determina o padrão geral da produção de serapilheira durante o ano, de maiores produções no verão, juntamente com as produções de estípulas e propágulos que também apresentam correlações positivas com a temperatura do ar, radiação, precipitação acumulada mensal e evapotranspiração potencial, com correlações mais fortes nas florestas de franja e bacia.
- d) A precipitação acumulada mensal apresenta coeficiente de correlação semelhantes para a produção de folhas e propágulos nas florestas de franja,

maior para propágulos nas florestas de bacia e maior para folhas nas florestas de transição, não havendo, portanto, um padrão comum a todas as zonas.

e) A evapotranspiração potencial tem padrão regido pela temperatura do ar, com maiores correlações nas florestas de franja e bacia com os compartimentos folhas, propágulos e estípulas.

f) O balanço hídrico apresentou correlação significativa positiva com a produção de galhos e ramos nas florestas de franja, correlações negativas com a produção de folhas nas florestas de bacia e estípulas nas florestas de transição.

As análises realizadas para entender como o evento de herbivoria severa (praga) nos anos de 2009 e 2010 afetou o manguezal de Guaratiba a partir da produção de serapilheira se mostraram satisfatórios. Foi visto que:

a) A praga afetou diretamente a espécie *Avicennia schaueriana* em todos os tipos fisiográficos, com redução da produção de folhas na serapilheira variando entre 43% a 86% do início do monitoramento (2009) até o ano do ápice de desfolhação (2011).

b) Ocorreu redução do impacto da desfolhação ao longo do gradiente de inundação pelas marés (tipos fisiográficos), com maiores efeitos nas florestas localizadas na transição com a planície hipersalina e progressiva redução em direção às florestas de franja.

c) Nas florestas de franja e bacia, de 2009 para 2011, *Laguncularia racemosa* apresentou redução de 52% e 67% de folhas na serapilheira, respectivamente, e aumento de 30% na floresta de transição.

d) A espécie *Rhizophora mangle* (L.) apresentou aumento de 7% da produção de folhas na bacia, tornou-se presente na transição e reduziu em 25% sua contribuição na floresta de franja.

e) Os resultados mostram que o tempo de regeneração da produção de detritos de *A. schaueriana* foi de 8 anos após o ápice da praga.

f) Os resultados obtidos ainda refletem o efeito do processo seletivo de desfolhação severa sobre a dinâmica e sucessão ecológica das florestas de mangue.

Adicionalmente foi gerado um modelo apresentando os estágios relacionados aos efeitos da desfolhação severa ocasionado pela praga de lagartas sobre os manguezais estudados composto pelos seguintes estágios:

- I – Início da praga e aumento acentuado da herbivoria (anos 2009 e 2010);
- II - Ápice da desfolhação severa (2011);
- III - Processo de recuperação da espécie afetada (entre os anos 2012 e 2018);
- IV - Regeneração da espécie afetada (2019).

Considerando as variáveis analisadas no presente estudo, determinar as interações entre fatores bióticos e abióticos e seus efeitos sobre a produção de serapilheira não é uma tarefa simples. Entretanto, as seguintes conclusões foram estabelecidas:

- a) O gradiente de inundação pelas marés é responsável pela variação espacial da produção de serapilheira no manguezal. Determinando as variações de salinidade da água intersticial e desenvolvimento estrutural no ecossistema, que refletem no aporte de serapilheira.
- b) A produção de serapilheira é influenciada pela composição das espécies em cada zona, que variam conforme a salinidade e o rigor ambiental, apresentando diferentes disponibilidade de biomassa.
- c) As variáveis climáticas se mostraram influentes na variação sazonal da serapilheira ao longo do ano, com maiores produções no verão e menores no inverno. Sendo as principais: precipitação acumulada mensal, temperatura do ar e radiação.
- d) O balanço hídrico se mostra influente em variações de longo prazo na produção de serapilheira, quando considerados períodos de alto ou baixo estresse hídrico no ecossistema.
- e) Praga de insetos é fator que possui grande capacidade de mudar os padrões da produção de serapilheira no manguezal, devido a influência direta na redução da produção de folhas.
- f) Foi visto que evento de praga modifica a produção a longo prazo, influenciando na contribuição das espécies e compartimentos da serapilheira em diferentes graus nas zonas da floresta.

g) Eventos de praga também podem mascarar a influência de outras variáveis, como balanço hídrico e variáveis climatológicas, na produção de serapilheira. Sendo importante a exclusão de períodos de forte influência destes eventos para determinadas análises.

h) A praga se mostrou influente no processo de sucessão das espécies em Guaratiba, através do qual há uma substituição progressiva de *A. schaueriana* e *L. racemosa* por *R. mangle*, como efeito da migração da floresta em direção à planície hipersalina como resposta à elevação do nível médio do mar.

REFERÊNCIAS

ABBEY-KALIO.N.J. A pilot study of mangrove litter production in the Bonny Estuary of southern Nigeria. **Discovery and Innovation**, v. 4, n. 3, p. 71–78, 1992.

ADAIME, R. R. **Produção do bosque de mangue da Gamboa Nóbrega (Cananéia, 250 lat. S. Brasil)**. Tese de doutorado—Instituto Oceanográfico: Universidade de São Paulo, 1985.

AIDE, T. M. Patterns of leaf development and herbivory in a tropical understory community. **Ecology**, v. 74, n. 2, p. 455–466, 1993.

AKSORKOAE, S.; KHEMNARK, C. **Nutrient cycling in mangrove forest of Thailand**. Proceedings of the Asian Symposium on Mangrove Environment- Research and Management. **Anais...**1984.

AKSORKOAE, S.; KONGSANGCHAI, J.; JINTANA, V. Ecological Equilibrium and Productivity of Mangrove Forests in Thailand. **Thai J. For**, v. 6, p. 160–187, 1987.

ALLEMAN, L. K.; HESTER, M. W. Reproductive Ecology of Black Mangrove (*Avicennia germinans*) Along the Louisiana Coast: Propagule Production Cycles, Dispersal Limitations, and Establishment Elevations. **Estuaries and Coasts**, v. 34, n. 5, p. 1068–1077, 2011.

ALMEIDA, P. M. et al. Mapping physiographic types of mangrove forests through the object-based classification method. **South-Eastern European Journal**, v. 3, p. 425–428, 1 May 2014.

ALMEIDA, P. M. M. **Análise Espaço-Temporal da Área Ocupada por Florestas de Mangue em Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ) de 1985 até 2006 e sua Relação com as Variações Climáticas**. Dissertação de Mestrado—Programa de Pós-Graduação em Geografia: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

ALONGI, D. M. **The Energetics of Mangrove Forests**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009.

AMARASINGHE, M. D.; BALASUBRAMANIAM, S. Net primary productivity of two mangrove forest stands on the northwestern coast of Sri Lanka. **Hydrobiologia**, v. 247, n. 1–3, p. 37–47, Nov. 1992.

ANDERSON, C.; LEE, S. Y. Defoliation of the Mangrove *Avicennia marina* in Hong Kong: Cause and Consequences. **Biotropica**, v. 27, n. 2, p. 218, 1 Jun. 1995.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. DE S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 715–721, Oct. 2003.

ARAÚJO, D. C. B. **O processo de herbivoria e os organismos causadores de danos foliares em plantas de mangue na área de proteção ambiental da Barra do Rio Mamanguape, Estado da Paraíba, Brasil.** Dissertação de Mestrado—Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas—Zoologia: Universidade Federal da Paraíba, 2002.

ARREOLA-LIZÁRRAGA, J. A.; FLORES-VERDUGO, F. J.; ORTEGA-RUBIO, A. Structure and litterfall of an arid mangrove stand on the Gulf of California, Mexico. **Aquatic Botany**, v. 79, n. 2, p. 137–143, 1 Jun. 2004.

AYUKAI, T. et al. Fluxes of nutrients and dissolved and particulate organic carbon in two mangrove creeks in northeastern Australia. **Mangroves and Salt Marshes**, v. 2, n. 4, p. 223–230, 1998.

BALL, M. C. Ecophysiology of mangroves. **Trees**, v. 2, n. 3, p. 129–142, 1988.

BARREIRO-GÜEMES, M. Aporte de hojarasca y renovación foliar del manglar en un sistema estuarino del Sureste de México. **Revista de Biología Tropical**, v. 47, p. 729–737, 1 Dec. 1999.

BARRETT, M. A.; STILING, P. Effects of Key deer herbivory on forest communities in the lower Florida Keys. **Biological Conservation**, v. 129, n. 1, p. 100–108, Apr. 2006.

BARROW, M. Statistics for economics, accounting and business studies [electronic resource] / Michael Barrow. p. 499, 2013.

BEGON, J.; TOWNSEND, M.; HARPER, C. R. Ecology: from individuals to ecosystems. 4th edition. Malden: Blackwell Publishing. 2007. In: **Ecology: from individuals to ecosystems. 4th edition.** [s.l.: s.n.]. p. 501–738.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology: from individuals to ecosystems.** [s.l.] John Wiley & Sons, 2006.

BENEVIDES, J. DE A. J.; MAIA, R. C.; DA SILVA, I. H. C. V. Phenological monitoring for environmental impact assessment in estuarine mangroves in Northeastern Brazil. **Ciencia Florestal**, v. 31, n. 4, p. 1631–1653, 17 Nov. 2021.

BERNINI, E. et al. Phytosociology and litterfall in the mangrove estuary of the Itabapoana river, Southeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 9, p. 88–102, 5 Sep. 2014.

BERNINI, E.; LAGE-PINTO, F. Infestation of the invasive exotic moth *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) in *Avicennia* L. (Acanthaceae) in the mangrove of the Mamanguape River, Paraíba, Brazil. **Aquatic Botany**, v. 168, p. 103311, 1 Jan. 2021.

BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Variação estrutural em florestas de mangue do estuário do rio Itabapoana, ES-RJ. **Biotemas**, v. 23, n. 1, p. 49–60, Jun. 2010.

BETOULLE, J. L. et al. Caractérisation des chutes de litière et des apports au sol en nutriments dans une mangrove de Guyane française. **Canadian Journal of Botany**, v. 79, n. 2, p. 238–249, 1 Feb. 2001.

BEVAN, J. M.; KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. London: Griffin, 1971. v. 20

BISWAS, O. et al. *Hyblaea puera* (Cramer, 1777) [Lepidoptera : Hyblaeidae] Infestation on *Avicennia alba* Blume in Sunderban Biosphere Reserve, West Bengal, India. **Proceedings of the Zoological Society**, v. 71, n. 4, p. 331–335, 18 May 2018.

BORGES, A. DE C. **Distribuição de fósforo em um reflorestamento de *Rhizophora mangle* em Jardim Gramacho**. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Universidade Federal Fluminense, 2010.

BOTO, K. G.; BUNT, J. S. Tidal export of particulate organic matter from a Northern Australian mangrove system. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 13, n. 3, p. 247–255, 1981.

BROTONEGORO, S.; ABDULKADIR, S. **Penelitian pendahuluan tentang kecepatan gugur daun dan penguraiannya dalam hutan bakau Pulau Rambut**. Seminar Ekosistem Hutan Mangrove, Jakarta. **Anais...**1979.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, v. 35, n. 4, p. 881–902, 1 Dec. 1989.

BUNT, J. S. Continental scale patterns in mangrove litter fall. **Hydrobiologia**, v. 295, n. 1, p. 135–140, 1995.

BURROWS, D. **The role of insect leaf herbivory on the mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora stylosa***. Tese de doutorado—Zoology and Tropical Ecology: James Cook University, 1 Jan. 2003.

CANNICCI, S. et al. Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 2, p. 186–200, 1 Aug. 2008.

CAPOTE-FUENTES, R. T.; LEWIS, R. R. **Resiliencia y restauración de los manglares del Golfo de México y El Caribe**. Memorias del II Simposio Internacional de Restauración de Ecosistemas. CP. Villa Clara. **Anais...**2004.

CARDOSO, C. D. S.; CHAVES, F. D. O.; SOARES, M. L. G. Variação espaço-temporal na produção de propágulos de espécies de mangue no Sudeste do Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 10, n. 3, p. 491–503, 20 Jan. 2015.

CARDOSO, C. DOS S. **Variabilidade espacial e temporal na produção de propágulos em floresta de mangue de Guaratiba**. Dissertação de mestrado—Programa de Pós-Graduação em Oceanografia: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2014.

CARINO BOUZADA, M. A. Aprendendo Decomposição Clássica: Tutorial para um Método de Análise de Séries Temporais. **TAC – Tecnologias de Administração e Contabilidade**, v. 2, n. 1, p. 1–18, 29 Jun. 2012.

CARPANEZZI, A. A.; FÁBIO, O. .; DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA, P. Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de eucaliptos no interior do Estado de São Paulo. 4 Jun. 1980.

CARVALHO, M. L. **Aspectos da produção primária dos bosques de mangue do Furo Grande, Bragança, Pará, Brasil**. Dissertação de mestrado—Pós-Graduação em Biologia Ambiental: Universidade Federal do Pará, 2002.

CHALE, F. M. M. Litter production in an *Avicennia germinans* (L.) stearn forest in Guyana, South America. **Hydrobiologia**, v. 330, n. 1, p. 47–53, 1996.

CHAPMAN, V. J. Mangrove biogeography. In: WALSH, G. E.; SNEDAKER, S. C. E T.; J., H. (Eds.). . **Proc. Inter. Symp. Biol. Management of Mangroves**. Honolulu: Junk, 1975. p. 3–22.

CHAVES, F. D. O. **Análise dos padrões de zonação e sucessão de espécies de mangue na região de Guaratiba, Baía de Sepetiba, RJ**. Monografia (Bacharelado em Oceanografia)—Faculdade de Oceanografia: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2001.

CHAVES, F. D. O. **Caracterização e relações ambientais da produção de serapilheira em florestas de mangue da baía de Guanabara, Rio de Janeiro – Brasil.** São Paulo: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 21 Jun. 2007.

CHOUDHURY, D. Herbivore Induced Changes in Leaf-Litter Resource Quality: A Neglected Aspect of Herbivory in Ecosystem Nutrient Dynamics. **Oikos**, v. 51, n. 3, p. 389, 1 Jun. 1988.

CHRISTENSEN, B. Biomass and primary production of *Rhizophora apiculata* Bl. in a mangrove in southern Thailand. **Aquatic Botany**, v. 4, p. 43–52, 1978.

CINTRON, G. et al. Mangroves of Arid Environments in Puerto Rico and Adjacent Islands. **Biotropica**, v. 10, n. 2, p. 110, 29 Mar. 1978.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la Ecología del manglar.** Montevideo, Uruguay: UNESCO/OREALC, 1983.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Methods for studying mangrove structure. In: SNEDAKER, S. . (Ed.). . **The Mangrove Ecosystem: Research Methods.** [s.l: s.n.]. v. 8p. 91–113.

CLARKE, P. J. Base-Line Studies of Temperate Mangrove Growth and Reproduction; Demographic and Litterfall Measures of Leafing and Flowering. **Australian Journal of Botany**, v. 42, n. 1, p. 37–48, 1994.

CLARKE, P. J.; MYERSCOUGH, P. J. The intertidal distribution of the grey mangrove (*Avicennia marina*) in southeastern Australia: The effects of physical conditions, interspecific competition, and predation on propagule establishment and survival. **Australian Journal of Ecology**, v. 18, n. 3, p. 307–315, 1993.

CLOUGH, B. et al. Canopy leaf area index and litter fall in stands of the mangrove *Rhizophora apiculata* of different age in the Mekong Delta, Vietnam. **Aquatic Botany**, v. 66, n. 4, p. 311–320, 2000.

CLOUGH, B. F.; ATTIWILL, P. . Nutrient cycling in a community of *Avicennia marina* in a temperate region of Australia. **Proc. Int. Sym. Biology and management of mangroves**, v. 1, p. 137–146, 1975.

CLOUGH, B. F.; ATTIWILL, P. M. **Mangrove Ecosystem in Australia: Structure, Function, and Management: Proceedings of the Australian National Mangrove Workshop, Australian Institute of Marine Science, Cape Ferguson, 18-20 April 1979.** [s.l.] Australian National University, Research School of Social Sciences, 1982.

COLEY, P. D. Intraspecific variation in herbivory on two tropical tree species. **Ecology**, v. 64, n. 3, p. 426–433, 1983.

COLEY, P. D.; BARONE, J. A. Herbivory and plant defenses in tropical forests. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 27, n. 1, p. 305–335, 28 Nov. 1996.

CORONADO-MOLINA, C. et al. Litterfall dynamics in carbonate and deltaic mangrove ecosystems in the Gulf of Mexico. **Wetlands Ecology and Management**, v. 20, n. 2, p. 123–136, 2012.

CUNHA, S. R.; TOGNELLA-DE-ROSA, M. M. P.; COSTA, C. S. B. Structure and Litter Production of Mangrove Forests under Different Tidal Influences in Babitonga Bay , Santa Catarina, Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI 39, n. 39, p. 1169–1174, 27 May 2006.

DA SILVA, W. A.; LAGE-PINTO, F.; BERNINI, E. Leaf damage in three mangrove forests in Northeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 10, n. 3, p. 239–248, 2015.

DAWES, C.; SIAR, K.; MARLETT, D. Mangrove structure, litter and macroalgal productivity in a northern-most forest of Florida. **Mangroves and Salt Marshes**, v. 3, n. 4, p. 259–267, 1999.

DAY, J. W. et al. The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, Mexico. **Aquatic Botany**, v. 27, n. 3, p. 267–284, 1987.

DAY JR, J. W. et al. A 7 year record of above-ground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. **Aquatic Botany**, v. 55, n. 1, p. 39–60, 1996.

DE ALVARENGA, A. M. S. B.; BOTOSSO, P. C.; SOFFIATTI, P. Stem growth and phenology of three subtropical mangrove tree species. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 40, n. 4, p. 907–914, 1 Dec. 2017.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA FILHO, A. T. DE. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 1, p. 11–26, 1997.

DITTMAR, T.; LARA, R. J. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements. **Marine Ecology Progress Series**, v. 213, p. 67–77, 15 Mar. 2001.

DO CARMO PINTO, S. I. et al. Litter production in two successional stages of a tropical semideciduous forest in the mata do paraíso forest reserve in Viçosa, MG. **Revista Arvore**, v. 32, n. 3, p. 545–550, 2008.

DUKE, N. C. Phenological Trends with Latitude in the Mangrove Tree *Avicennia Marina*. **The Journal of Ecology**, v. 78, n. 1, p. 113, 9 Jun. 1990.

DUKE, N. C.; BUNT, J. S.; WILLIAMS, W. T. Mangrove Litter Fall in North-Eastern Australia. I. Annual Totals by Component in Selected Species. **Australian Journal of Botany**, v. 29, n. 5, p. 547–553, 1981.

DUKE, N. C.; BUNT, J. S.; WILLIAMS, W. T. Observations on the floral and vegetative phenologies of north-eastern Australian mangroves*. **Australian Journal of Botany**, v. 32, n. 1, p. 87–99, 1984.

ELLISON, A. M.; FARNSWORTH, E. J. Seedling Survivorship, Growth, and Response to Disturbance in Belizean Mangal. **American Journal of Botany**, v. 80, n. 10, p. 1137–1145, 24 Jun. 1993.

ELLISON, J. C. Mangrove community characteristics and litter production in Bermuda. In: KJERFVE, B.; DE LACERDA, L. D.; DIOP, E. H. S. (Eds.). **Mangrove Ecosystem Studies in Latin America and Africa**. [s.l.] Paris (France) UNESCO, 1997. p. 8-17.

ELSAYED, M. An Overview of Wavelet Analysis and Its Application to Ocean Wind Waves. **Journal of Coastal Research**, v. 263, n. 263, p. 535–540, May 2010.

ELSTER, C. et al. Control of *Avicennia germinans* recruitment and survival by *Junonia evarete* larvae in a disturbed mangrove forest in Colombia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 15, n. 6, p. 791–805, 1 Nov. 1999.

ENGLER, A. Rhizophoraceae. In: MARTIUS, C. P. F.; EICHLER, A. W.; URBAN, I. (Eds.). **Flora brasiliensis Typographia Regia, Munchen, Wien**. 2. ed. [s.l.: s.n.]. p. 423–432.

ERICKSON, A. A. et al. Herbivore feeding preferences as measured by leaf damage and stomatal ingestion: A mangrove crab example. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 289, n. 1, p. 123–138, 22 Apr. 2003.

ESTEVAM, M. R. M. **Dinâmica de colonização de uma planície hipersalina por espécies de mangue em Guaratiba, RJ**. Dissertação de mestrado—Programa de Pós-Graduação em Oceanografia: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013.

ESTEVAM, M. R. M. **OS MANGUEZAIS DE GUARATIBA FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS: Análise da Influência da Variabilidade Climática sobre a Dinâmica de Comunidades Pioneiras**. Tese de doutorado—Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2019.

ESTEVAM, M. R. M.; FERNANDES, A. M. E.; GOMES SOARES, M. L. Wavelet Analysis Applied to the Identification of Climatic Variability in a Coastal Plain in Southeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 95, n. sp1, p. 1422–1426, 1 May 2020.

ESTRADA, G. C. D. et al. Annual growth rings in the mangrove *Laguncularia racemosa* (Combretaceae). **Trees - Structure and Function**, v. 22, n. 5, p. 663–670, 26 Oct. 2008.

ESTRADA, G. C. D. **Análise espaço-temporal do sequestro e estoque de carbono na biomassa aérea de manguezais**. Tese de doutorado—Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

ESTRADA, G. C. D. et al. Analysis of the structural variability of mangrove forests through the physiographic types approach. **Aquatic Botany**, v. 111, p. 135–143, 1 Nov. 2013.

ESTRADA, G. C. D. et al. Allometric models for aboveground biomass estimation of the mangrove *Avicennia schaueriana*. **Hydrobiologia**, v. 734, n. 1, p. 171–185, 2014.

FARACO, L. F. D. et al. Infestation of mangroves by the invasive moth *Hyblaea puera* (Cramer, 1777)(Lepidoptera: Hyblaeidae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, p. 1–7, 24 Oct. 2019.

FARIAS, A. DO S. C.; FERNANDES, M. E. B.; REIS, A. **Comparação da produção de serapilheira de dois bosques de mangue com diferentes padrões estruturais na península Bragantina, Bragança, Pará** **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais** [scielo](https://doi.org/10.1590/1981-81222006110100000000000000000000), , 2006.

FELLER, I. C. Effects of nutrient enrichment on growth and herbivory of dwarf red mangrove (*Rhizophora mangle*). **Ecological Monographs**, v. 65, n. 4, p. 477–505, 1995.

FELLER, I. C. The role of herbivory by wood-boring insects in mangrove ecosystems in Belize. **Oikos**, v. 97, n. 2, p. 167–176, 2002.

FELLER, I. C.; CHAMBERLAIN, A. Herbivore responses to nutrient enrichment and landscape heterogeneity in a mangrove ecosystem. **Oecologia**, v. 153, n. 3, p. 607–616, 2007.

FELLER, I. C.; MATHIS, W. N. Primary herbivory by wood-boring insects along an architectural gradient of *Rhizophora mangle*. **Biotropica**, v. 29, n. 4, p. 440–451, 1997.

FERNANDES, F. C. S.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Produção e decomposição da liteira em fragmento florestal em Campo Verde (MT). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 47, n. 47, p. 173–186, 2007.

FERNANDES, M. E. B. **the Ecology and Productivity of Mangroves in the Amazon Region, Brazil**. York: University of York, 1997.

FERNANDES, M. E. B.; NASCIMENTO, A. A. M.; CARVALHO, M. L. Effects of herbivory by *Hyblaea puera* (Hyblaeidae: Lepidoptera) on litter production in the mangrove on the coast of Brazilian Amazonia. **Journal of Tropical Ecology**, v. 25, n. 3, p. 337–339, 1 May 2009.

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

FERREIRA, M. L. et al. Litter fall production and decomposition in a fragment of secondary Atlantic Forest of São Paulo, sp, southeastern Brazil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 591–600, 29 Mar. 2014.

FLORES-VERDUGO, F. J.; DAY JW, J.; BRISENO-DUENAS, R. Structure, litter fall, decomposition, and detritus dynamics of mangroves in a Mexican coastal lagoon with an ephemeral inlet. **Marine Ecology Progress Series**, v. 35, p. 83–90, 1987.

FROMARD, F. et al. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: New data from French Guiana. **Oecologia**, v. 115, n. 1–2, p. 39–53, 1998.

G., T. B. Mangrove ecology: a geomorphological perspective. **Mangrove Ecosystems in Australia, Structure, Function and Management**, p. 3–17, 1982.

GARCÍA-HANSEN, I. et al. Producción de hojarasca de los manglares de la Isla de San Andrés, Caribe Colombiano. **Revista de Biología Tropical**, v. 50, n. 1, p. 273–291, 2002.

GHOSH, P. B. et al. Mangrove litter production in a tidal creek of Lothian island of Sundarbans, India. 1990.

GILL, A. M.; TOMLINSON, P. B. Studies on the Growth of Red Mangrove (*Rhizophora mangle* L.) 3. Phenology of the Shoot. **Biotropica**, v. 3, n. 2, p. 109, 10 Jun. 1971.

GIRI, C. et al. 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, Jan. 2011.

GLADSTONE-GALLAGHER, R. V.; LUNDQUIST, C. J.; PILDITCH, C. A. Mangrove (*Avicennia marina* subsp. *australasica*) litter production and decomposition in a temperate estuary. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 48, n. 1, p. 24–37, 2 Jan. 2014.

GONÇALVES, A. DO S. D. C.; FERNANDES, M. E. B.; CARVALHO, M. L. Variação anual da produção de serapilheira em bosques de mangue no Furo Grande, Bragança, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 1, n. 3, p. 35–42, 18 Dec. 2006.

GOULTER, P. F. E.; ALLAWAY, W. G. Litter Fall and Decomposition in a Mangrove Stand, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh., in Middle Harbour, Sydney. **Marine and Freshwater Research**, v. 30, n. 4, p. 541–546, 1979.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M. Apicuns: Aspectos Gerais, Evolução Recente E Mudanças Climáticas Globais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2 SE-Artigos, 29 Nov. 2009.

HADLICH, G. M.; UCHA, J. M.; CELINO, J. J. APICUM: TRANSIÇÃO ENTRE SOLOS DE ENCOSTAS E DE MANGUEZAIS. 2008.

HAMACHER, C. **Fluxo de materiais entre manguezais e áreas costeiras adjacente: Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil**. Tese de Doutorado—[s.l.] Pontifícia Universidade Católica (PUC - RJ), 2001.

HEALD, E. J. **The production of organic detritus in a south Florida estuary**. Tese de Doutorado—Estuarine and Coastal Studies: University of Miami, 1969.

HEALD, E. J.; ROESSLER, M. A.; BEARDSLEY, G. L. Litter production in a southwest Florida black mangrove community. **Proceedings of the Florida Anti Mosquito Association**, 1979.

HERNÁNDEZ, A.; MULLEN, K. Productividad primaria neta en un manglar del pacífico Colombiano. **Memorias del Simposium sobre Pacífico Colombiano. Universidad del Valle. Cali, Colombia**, v. 120, 1979.

HUSTON, M. Biological Diversity: The Coexistence of Species on Changing Landscapes. 1 Jan. 1994.

HUTCHINGS, P.; SAENGER, P. **Ecology of mangroves**. St. Lucia, Qld: University of Queensland Press, 1987.

IGNACIO, G. M. et al. Variação nos níveis de herbivoria foliar em dois manguezais da baía de Paranaguá (Paraná – Brasil). **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 9, n. 2, p. 1, 17 Oct. 2005.

IMBERT, D.; MENARD, S. Structure de la Végétation et Production Primaire dans la Mangrove de la Baie de Fort-de-France, Martinique (F.W.I.). **Biotropica**, v. 29, n. 4, p. 413–426, 1 Dec. 1997.

IMBERT, D.; PORTECOP, J. Étude de la production de litière dans la mangrove de Guadeloupe (Antilles françaises). **Acta oecologica. Oecologia plantarum**, v. 7, n. 4, p. 379–396, 1986.

IWUEZE, I. S. et al. Comparison of Methods of Estimating Missing Values in Time Series. **Open Journal of Statistics**, v. 08, n. 02, p. 390–399, 2018.

JAYAKODY, J. M. A. L. et al. Vegetation structure and potential gross primary productivity of mangroves at Kadolkele in Meegamuwa (Negombo) estuary, Sri Lanka. Sri Lanka. **Journal of Aquatic Sciences**, v. 13, p. 95–108, 1 Jan. 2008.

JENNERJAHN, T. C. et al. Mangrove ecosystems under climate change. In: **Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services**. [s.l: s.n.]. p. 211–244.

JENOH, E. M. et al. Wide ranging insect infestation of the pioneer mangrove *Sonneratia alba* by two insect species along the Kenyan coast. **PLoS ONE**, v. 11, n. 5, p. e0154849, 1 May 2016.

JIMÉNEZ, J. A. The Structure and Function of Dry Weather Mangroves on the Pacific Coast of Central America, with Emphasis on *Avicennia bicolor* Forests. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 182–192, 24 Jun. 1990.

JIMENEZ, J. A.; LUGO, A. E.; CINTRON, G. Tree Mortality in Mangrove Forests. **Biotropica**, v. 17, n. 3, p. 177, 9 Jun. 1985.

JIMÉNEZ, J. A.; SAUTER, K. Structure and dynamics of mangrove forests along a flooding gradient. **Estuaries**, v. 14, n. 1, p. 49–56, 9 Jun. 1991.

JOSHI, H.; GHOSE, M. Forest structure and species distribution along soil salinity and pH gradient in mangrove swamps of the Sundarbans. **Tropical Ecology**, v. 44, n. 2, p. 195–204, 2003.

KAMRUZZAMAN, M. et al. Litterfall production, decomposition and nutrient accumulation in Sundarbans mangrove forests, Bangladesh. **Forest Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 24–32, 2 Jan. 2019.

KATHIRESAN, K. Insect folioivory in mangroves. **Indian Journal of Marine Sciences**, v. 32, n. 3, p. 237–239, 2003.

KIHIA, C. M. et al. Leaf herbivore preference in a tropical mangrove forest impacted by human physical disturbance. 2012.

KRAUSS, K. W. et al. Effects of Season, Rainfall, and Hydrogeomorphic Setting on Mangrove Tree Growth in Micronesia. **Biotropica**, v. 39, n. 2, p. 161–170, 1 Mar. 2007.

KRAUSS, K. W. et al. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 2, p. 105–127, Aug. 2008.

LACERDA, L. D. DE et al. Metallic composition of mangrove leaves from the southeastern Brazilian coast. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 46, n. 2, p. 395–399, 1986.

LAMPARELLI, C. C. **Dinâmica da serapilheira em manguezais de Bertioga, Região Sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado—Faculdade de Saúde Pública: Universidade de São Paulo, 1995.

LANDIM, M. F.; MAIA, M. M. **comparação da produção de serapilheira em diferentes tipos de bosques de mangue no estuário do rio Piauí - SE**. Anais do IV Simpósio de ecossistemas brasileiros (Vol. I). **Anais...Águas de Lindoia**, SP: 1998.

LANDSBERG, J. J. Physical Aspects of the Water Regime of Wet Tropical Vegetation. In: MEDINA, E.; MOONEY, H. A.; VÁZQUEZ-YÁNES, C. (Eds.). **Physiological ecology of plants of the wet tropics**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1984. p. 13–25.

LARCHER, L. et al. Produção de serapilheira em dois manguezais do estado do Paraná, Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, v. 1, n. 1, 18 Jul. 2014.

LARCHER, W.; DE ASSIS PRADO, C. H. B. **Ecofisiologia vegetal**. [s.l.] RiMa Artes e textos São Carlos, 2000.

LEACH, G. J.; BURGIN, S. Litter production and seasonality of mangroves in Papua New Guinea. **Aquatic Botany**, v. 23, n. 3, p. 215–224, 1985.

LEE, S. Y. Litter production and turnover of the mangrove *Kandelia candel* (L.) druce in a Hong Kong tidal shrimp pond. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 29, n. 1, p. 75–87, 1 Jul. 1989.

LEE, S. Y. Primary productivity and particulate organic matter flow in an estuarine mangrove-wetland in Hong Kong. **Marine Biology**, v. 106, n. 3, p. 453–463, 1990.

LEE, S. Y. Mangrove outwelling: a review. **Hydrobiologia**, v. 295, n. 1–3, p. 203–212, 1995.

LEVINE, E. A. **Nitrogen Cycling by the Red Mangrove, *Rhizophora Mangle* L., in Joyuda Lagoon on the West Coast of Puerto Rico** University of Puerto Rico, Center for Energy and Environment Research, , 1981.

LI, M. S. **Research on mangrove ecosystem in Futian, Shenzhen** PhD thesis, Zhongshan University, Guangzhou, , 1993.

LIMA, C. S. DE et al. Sclerophylly in mangrove tree species from South Brazil. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 8432149, p. 1159–1166, 27 Jun. 2013.

LIN, P. et al. The biomass and productivity of *Kandelia candel* community. **J. Xiamen Univ**, v. 14, n. 50, p. 8–514, 1985.

LIN, P. et al. Biomass and productivity of *Bruguiera sexangula* mangrove forest in Hainan Island. **China, J. Xiamen Univ**, v. 29, p. 209–213, 1990.

LIN, P.; YIN, Y.; LU, C. Y. Biomass and productivity of *Rhizophora stylosa* community in Yingluo Bay of Guangxi. **J Xiamen Univ (Nat Sci)**, v. 31, p. 199–202, 1992.

LONGO, A. F. P. **Produtividade primária em bosque de franja e bacia no manguezal do Rio Ariquindá (Tamandaré Pernambuco, Brasil)**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

LOPEZ-PORTILLO, J.; EZCURRA, E. Litter Fall of *Avicennia germinans* L. in a One-Year Cycle in a Mudflat at the Laguna de Mecoacan, Tabasco, Mexico. **Biotropica**, v. 17, n. 3, p. 186–190, 23 Jun. 1985.

LOWMAN, M. D. An Assessment of Techniques for Measuring Herbivory: Is Rainforest Defoliation More Intense Than we Thought? **Biotropica**, v. 16, n. 4, p. 264, Dec. 1984.

LOYOLA JR, R.; FERNANDES, G. W. Herbivoria em *Kielmeyera coriacea* (Guttiferae): efeitos da idade da planta, desenvolvimento e aspectos qualitativos de folhas. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 53, n. 2, p. 295–304, 1993.

LU, C. Y.; ZHENG, F.; LIN, P. Study on litter fall production of *Kandelia candel* mangrove community in estuary. **J. Xiamen Univ. Nat. Sci. Xiamen Daxue Xuebao**, v. 27, n. 4, p. 459–463, 1988.

LUGO, A. E.; BROWN, S.; BRINSON, M. M. Forested wetlands in freshwater and salt-water environments. **Limnology and Oceanography**, v. 33, n. 4part2, p. 894–909, 1 Jul. 1988.

LUGO, A. E.; MEDINA, E. **Mangrove forests. Encyclopedia of natural resources** New York, NY: Taylor & Francis, , 2014.

LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. **Properties of a mangrove forest in southern Florida.** The role of mangroves ecosystems in the maintenance of environmental quality and a high productivity of desirable fisheries. **Anais...**The Bureau of sport fisheries and wildlife, 1973.

LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. The Ecology of Mangroves. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 5, n. 1, p. 39–64, Nov. 1974.

LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. Properties of a mangrove forest in South Florida. **Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves**, v. 1, p. 170–212, 1975.

LUGO, A. E.; TWILLEY, R. R.; PATTERSON-ZUCCA, C. **The role of black mangrove forests in the productivity of coastal ecosystems in south Florida.** [s.l.] Corvallis Environmental Research Laboratory, 1980.

MACHADO, M. R. O. **Produção de Serapilheira em Florestas de mangue em Guaratiba - RJ.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

MACIEJ SERDA. Synteza i aktywność biologiczna nowych analogów tiosemikarbazonowych chelatorów żelaza. **Uniwersytet śląski**, p. 343–354, 2013.

MACKEY, A. P.; SMAIL, G. Spatial and temporal variation in litter fall of *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. in the Brisbane River, Queensland, Australia. **Aquatic Botany**, v. 52, n. 1–2, p. 133–142, 1 Sep. 1995.

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245, 1945.

MCKEE, K. L.; FAULKNER, P. L. Restoration of Biogeochemical Function in Mangrove Forests. **Restoration Ecology**, v. 8, n. 3, p. 247–259, 1 Sep. 2000.

MCLEOD, A. I.; YU, H.; MAHDI, E. Time Series Analysis with R. **Handbook of Statistics**, v. 30, p. 661–712, 31 Dec. 2012.

MEHLIG, U. **Aspects of tree primary production in an equatorial mangrove forest**. Bremen: [s.n.].

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, Feb. 2006.

MENÉNDEZ, L. Bases Ecológicas para la Restauración de Manglares en Áreas Seleccionadas del Archipiélago Cubano y su relación con los Cambios Climáticos Globales. **Project Report, Institute of Ecology and Systematics (IES), National Program on Global Change and Evolution of the Cuban Environment, Havana City, Cuba, 2000.**

MENEZES, M. P. M. DE; MEHLIG, U. Desfolhação Maciça de Árvores de *Avicennia germinans* (L.) Stearn 1958 (Avicenniaceae) por *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae), Península nos Manguezais da P enínsula de Bragança, P Massive Desfoliation of *Avicennia germinans* (L.) Stearn 1958. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 1958, n. 1, p. 221–226, 2005.

MENEZES, G. V. **Producao e decomposicao em bosques de mangue da ilha do cardoso, cananea, sp**. Dissertação de mestrado—Oceanografia Biológica: Universidade de São Paulo, 1994.

MENEZES, L. C. S. **Estrutura e produção de serapilheira de floresta de mangue na região estuarina-lagunar do baixo São Francisco sergipano**. Dissertação de mestrado—Mestrado em Agroecossistemas: Universidade Federal de Sergipe, 2010.

MENEZES, L. F. DE T.; PEIXOTO, A. L. Leaf damage in a mangrove swamp at Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 4, p. 715–724, 2009.

MEYERS, S. D.; BRIEN, J. O. Indian Ocean using wavelet analysis. v. 21, n. 9, p. 777–780, 1994.

MORRISEY, D. et al. The Ecology and Management of Temperate Mangroves. **Oceanography and Marine Biology: An annual review**, v. 48, p. 43–160, 1 Jul. 2010.

MOURA, M. M. S. et al. Produção de serapilheira e suas frações em área da Caatinga no Semiárido Tropical. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 5, p. 199, 1 Jan. 2016.

MUROVHI, N. R.; MATERECHERA, S. A.; MULUGETA, S. D. Seasonal changes in litter fall and its quality from three sub-tropical fruit tree species at Nelspruit, South Africa. **Agroforestry Systems**, v. 86, n. 1, p. 61–71, 2012.

MURPHY, D. H. The natural history of insect herbivory on mangrove trees in and near Singapore. **Raffles Bulletin of Zoology**, v. 38, p. 119–203, 1 Jan. 1990.

NASCIMENTO, R. D. E. S. A. DO et al. Produção de serapilheira em um fragmento de bosque de terra firme e um manguezal vizinhos na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 1, n. 3, p. 71–76, 18 Dec. 2006.

NEGRON, L.; CINTRON, G. **Estructura y funcion del manglar de laguna Joyuda, Mayaguez, Puerto Rico**. VII Simpósio Latinoamericano Sobre Oceanografía Biológica. **Anais...Acapulco**, México: 1981.

NEILSON, M. J.; GIDDINS, R. L.; RICHARDS, G. N. Effect of tannins on the palatability of mangrove leaves to the tropical sesarminid crab *Neosarmatium smithi*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 34, p. 185–186, 1986.

NEWBERY, D. M. Infestation of the coccid, *Icerya seychellarum* (Westw.), on the mangrove *Avicennia marina* (forsk.) vierh. on Aldabra Atoll, with special reference to tree age. **Oecologia**, v. 45, n. 3, p. 325–330, 1980.

NGA, B. T. et al. Young Mangrove Stands Produce a Large and High Quality Litter Input to Aquatic Systems. **Wetlands Ecology and Management**, v. 13, n. 5, p. 569–576, 2005.

OCHIENG, C. A.; ERFTEMEIJER, P. L. **Phenology, litterfall and nutrient resorption in *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh in Gazi Bay, Kenya**. Trees - Structure and Function. **Anais...Mar**. 2002.

ODUM, E. P. The effects of stress on the trajectory of ecological succession. **Stress effects on natural ecosystems**, p. 43–47, 1981.

ODUM, H. T. et al. Energy analysis and the coupling of man and estuaries. **Environmental Management**, v. 1, n. 4, p. 297–315, 1977.

ODUM, W. E.; HEALD, E. J. Mangrove Forests and Aquatic Productivity. **undefined**, p. 129–136, 1975a.

ODUM, W. E.; HEALD, E. J. The detritus based food web o fan estuarine mangroves community. **Ecological Studies**, v. 10, p. 129–136, 1975b.

ODUM, W. E.; MCIVOR, C. C.; SMITH III, T. J. **The ecology of the mangroves of South Florida: a community profile**FWS/OBS. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/fwsobs81_24>.

OFFENBERG, J.; MACINTOSH, D. J.; NIELSEN, M. G. Indirect ant-protection against crab herbivory: Damage-induced susceptibility to crab grazing may lead to its reduction on ant-colonized trees. **Functional Ecology**, v. 20, n. 1, p. 52–57, Feb. 2006.

OLIVEIRA, V. F. **Influência do estresse hídrico e salino na germinação de propágulos de *Avicennia schaueriana* Stapf e *Leechman ex Moldenke* e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f.** [s.l.] Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto De Pesquisas Jardim Botânico Do Rio De Janeiro, 2005.

ONG, J.-E. **Ecological monitoring of the Sungai Merbok Estuarine mangrove ecosystem: a follow-up of the baseline study carried out for the Lembaga Kemajuan Ikan Malaysia (Majuikan) to provide basic ecological data on the possible effects of conversion of mangrove for.** [s.l.] Universiti Sains Malaysia, 1981.

ONG, J. E. Mangrove outwelling? In: ONG, J. E.; GONG, W. K. (Eds.). . **Workshop on Productivity of the Mangrove Ecosystem: Management Implications**. Penang, Malaysia: University Saints Malaysia, 1984. p. 30–36.

ONG, J. E.; GONG, W. K.; WONG, C. H. Ecological survey of the Sungei Merbok estuarine mangrove ecosystem. **Ecological survey of the Sungei Merbok estuarine mangrove ecosystem. A baseline study carried out for the Lembaga Kemajuan Ikan Malaysia (MAJUIKAN) to provide basic ecological data on the possible effects of conversion of mangrove forests into aquaculture**, 1980.

ONG, J. E.; GONG, W. K.; WONG, C. H. **Productivity and nutrient status of litter in a managed mangrove forest**. Symposium on mangrove forest ecosystem productivity. BIOTROP-UNESCO, Bogor, Indonesia. **Anais...**1982.

ONUF, C. P.; TEAL, J. M.; VALIELA, I. Interactions of Nutrients, Plant Growth and Herbivory in a Mangrove Ecosystem. **Ecology**, v. 58, n. 3, p. 514–526, May 1977.

PANITZ, C. M. N. Produção e decomposição de serapilheira no mangue do Rio Itacorubi, Ilha de Santa Catarina, Florianopolis, Brasil (27. 35'S-48.31 W). 1986.

PARKINSON, R. W.; PEREZ-BEDMAR, M.; SANTANGELO, J. A. Red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) litter fall response to selective pruning (Indian River Lagoon, Florida, U.S.A.). **Hydrobiologia**, v. 413, n. 0, p. 63–76, 1999.

PELLEGRINI, J. A. DE C. **Caracterização da planície hipersalina (Apicum) associada a um bosque de mangue em Guaratiba, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro-RJ.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2000.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. P. P.-P. **Evapo(transpi)ração FEALQ**, 1997.

PEREIRA, L. S. **Análise de dez anos da produção de serapilheira no manguezal de Guaratiba, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.** Monografia—Faculdade de oceanografia: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2019.

PETRIDIS, A. et al. Salinity-induced changes in phenolic compounds in leaves and roots of four olive cultivars (*Olea europaea* L.) and their relationship to antioxidant activity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 79, p. 37–43, 1 Jul. 2012.

PIYAKARNCHANA, T. Severe defoliation of *Avicennia alba* BL. by larvae of *Cleora injectaria* Walker. **ScienceAsia**, v. 7, n. 1, p. 33–36, 1981.

PONTE, A. C. E. et al. **Producao de serapilheira e decomposicao do material foliar em ecossistema de mangue.** Anais do IV Congresso S.B.S.P., 1984.

POOL, D. J.; LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. **Litter production in mangrove forests of southern Florida and Puerto Rico.** International Symposium on Biology and Management of Mangroves. **Anais...**Gainesville, FL: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.: Walsh, G., Snedaker, S.C. and Teas, H, 1975.

POOL, D. J.; SNEDAKER, S. C.; LUGO, A. E. Structure of Mangrove Forests in Florida, Puerto Rico, Mexico, and Costa Rica. **Biotropica**, v. 9, n. 3, p. 195, 29 Mar. 1977.

POOVACHINARANON, S.; CHANSANG, H. **Structure of Ao Yon mangrove forest (Thailand) and its contribution to the coastal ecosystem.** Proceedings of the Biotrop Symposium on Mangrove Forests Ecosystem Productivity in South East Asia. **Anais...**Biotrop Special Publication, 1982.

PROCTOR, J. Tropical forest litterfall. I. Problems of data comparison. **Leeds Symposium on Tropical Rain Forest Ecology and Resource Management, Leeds (UK), 1982**, v. v. 2, p. SOC, 1984.

RICHARDSON, A. D. et al. **Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system** *Agricultural and Forest Meteorology*, 15 Feb. 2013.

RICO-GRAY, V.; LOT, A. Producción de hojarasca del manglar de la Laguna de la Mancha, Veracruz, México. *Biotica*, v. 8, n. 3, p. 295–300, 1983.

ROBERTSON, A. I.; ALONGI, D. M.; BOTO, K. G. **Food Chains and Carbon Fluxes Tropical Mangrove Ecosystems: Coastal and Estuarine Studies.**, 1 Jan. 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/CE041p0293>>

ROBERTSON, A. I.; DUKE, N. C. Insect herbivory on mangrove leaves in North Queensland. *Australian Journal of Ecology*, v. 12, n. 1, p. 1–7, 1 Mar. 1987.

ROCHA, L. R.; AMORIM, K. R. K. G.; MOCHEL, F. R. Análise De Herbivoria Foliar Em Dois Manguezais Localizados Ao Noroeste Da Ilha De São Luís (Maranhão – Brasil). In: GIOVANNI SEABRA (Ed.). **Terra - Mudanças Climáticas e Biodiversidade**. [s.l: s.n.]. p. 162–172.

ROESCH, A.; SCHMIDBAUER, H. **WaveletComp: Computational Wavelet Analysis**, 2018.

ROMERO, I.; CANTERA, J. Consumo de hojas por herbívoros en manglares del estuario del Río Dagua, Costa Pacífica Colombiana. *Revista de Biología Tropical*, v. 54, 1 Dec. 2006.

ROSSI, S.; SOARES, M. DE O. Effects of El Niño on the Coastal Ecosystems and Their Related Services. *Mercator*, v. 16, n. 12, p. 1–16, 1 Feb. 2017.

SAENGER, P.; SNEDAKER, S. C. Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia*, v. 96, n. 3, p. 293–299, Dec. 1993.

SAIFULLAH, S. M.; KHAFAJI, A. K.; MANDURA, A. S. Litter production in a mangrove stand of the Saudi Arabian Red Sea coast. *Aquatic Botany*, v. 36, n. 1, p. 79–86, 1989.

SANTOS, D. M. C. C. et al. First Assessment of Carbon Stock in the Belowground Biomass of Brazilian Mangroves. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 89, n. 3, p. 1579–1589, 9 Jun. 2017.

SANTOS, A. C. DOS et al. VARIABILIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E RENDIMENTO DO ALGODOEIRO HERBÁCEO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO E DE ADUBAÇÃO NITROGENADA.

Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 36, n. 2 SE-Artigo Científico, p. 123–129, 26 Oct. 2006.

SASEKUMAR, A.; LOI, J. J. Litter production in three mangrove forest zones in the malay peninsula. **Aquatic Botany**, v. 17, n. 3, p. 283–290, 1983.

SATHISH, C. et al. Estimation of extent of the mangrove defoliation caused by insect *Hyblaea puera* (Cramer, 1777) around Dharamtar creek, India using Sentinel 2 images. **Regional Studies in Marine Science**, v. 48, p. 102054, 1 Nov. 2021.

SAUR, E. et al. Insect herbivory on mangrove leaves in Guadeloupe: Effects on biomass and mineral content. **Hydrobiologia**, v. 413, n. 0, p. 89–93, 15 Oct. 1999.

SAUVARD, D. General Biology of Bark Beetles. **Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis**, p. 63–88, 2007.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Perfil dos ecossistemas litoraneos brasileiros, com especial enfase sobre o ecossistema manguezal. **Publicacao Especial do Instituto Oceanografico PP - São Paulo**, n. 7, p. 1–16, 1989.

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

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, n. 4, p. 561–570, 2000.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. Guia para estudo de áreas de manguezal; estrutura, função e flora. 1986.

SELL, M. G. Modeling the response of mangrove ecosystems to herbicide spraying, hurricanes, nutrient enrichment and economic development. 1977.

SESSEGOLO, G. C. **Estrutura e produção de serapilheira do Manguezal do rio Bagaçu, Baía de Paranaguá - PR**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 1997.

SESSEGOLO, G. C. **Estrutura e produção de serapilheira do manguezal do rio bagaçu, Baía de Paranaguá -PR**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2019.

SHARMA, S. et al. Leaf phenological traits and leaf longevity of three mangrove species (Rhizophoraceae) on Okinawa Island, Japan. **Journal of Oceanography**, v. 68, n. 6, p. 831–840, 2012.

SHUNULA, J. P.; WHITTICK, A. Aspects of Litter Production in Mangroves from Unguja Island, Zanzibar, Tanzania. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 49, p. 51–54, 1999.

SILVA, C. A. R. **Distribuição e ciclagem interna de metais pesados em um ecossistema de manguezal dominado por *Rhizophora mangle*, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro**. Tese de Mestrado—Departamento de Geoquímica: Universidade Federal Fluminense, 1988.

SILVA, C. R. E. **Desenvolvimento metodológico para a determinação do Índice de Área Foliar em florestas de mangue de Guaratiba (Rio de Janeiro, RJ)**. Dissertação de Mestrado—Pós-Graduação em Oceanografia: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, R. J. R.; MAIA, R. C. Leaf herbivory in a mangrove forest in Ceará, Brazil. **Ciencia Florestal**, v. 32, n. 1, p. 122–140, 25 Mar. 2022.

SILVA, W. A. **Danos foliares por herbivoria em florestas de mangue em três estuários do estado da Paraíba**. Dissertação de mestrado—Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Universidade Federal da Paraíba, 2014.

SNEDAKER, S. C. **Mangroves: their value and perpetuation** *Nat. Resour.*, 1978.

SNEDAKER, S. C.; BROWN, M. S. **Water quality and mangrove ecosystem dynamics**. 1981.

SOARES, L. G. et al. **ENVIRONMENTAL CHANGES IN SOUTH AMERICA IN THE LAST 10K YEARS: ATLANTIC AND PACIFIC CONTROLS AND BIOGEOGRAPHICAL EFFECTS ECOLOGICAL IMPACTS OF CLIMATIC CHANGE AND VARIABILITY: COASTAL ENVIRONMENTS - Mangroves and Salt Flats** *Atlantic*. Rio de Janeiro: [s.n.].

SOARES, M. L. . **Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudeste do Brasil – Análise de modelos**. Tese de Doutorado—Instituto de Oceanografia: Universidade de São Paulo, 1997.

SOARES, M. L. G. A conceptual model for the responses of mangrove forests to sea level rise. **Journal of Coastal Research**, n. SPEC. ISSUE 56, p. 267–271, 16 May 2009.

SOARES, M. L. G. et al. Southern limit of the Western South Atlantic mangroves: Assessment of the potential effects of global warming from a biogeographical perspective. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 101, p. 44–53, 9 Jun. 2012.

SOARES, M. L. G. et al. Mangrove forests associated with salt flats: A case study from southeast Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 2, p. 102–115, 2017.

SONGSOM, V. et al. **Mangrove Phenology and Environmental Drivers Derived from Remote Sensing in Southern Thailand** Remote Sensing, 2019.

SOUSA, W. P.; KENNEDY, P. G.; MITCHELL, B. J. Propagule size and predispersal damage by insects affect establishment and early growth of mangrove seedlings. **Oecologia**, v. 135, n. 4, p. 564–575, 2003.

SOUZA, B. T. **A influência da elevação do nível médio relativo do mar na estrutura etária de florestas de mangue em Guaratiba/RJ**. Dissertação de mestrado—Programa de Pós Graduação em Oceanografia: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2015.

SOUZA, B. T. et al. Occurrence of annual growth rings in rhizophora mangle in a region with low climate seasonality. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 1, p. 517–525, 1 Jan. 2016.

SOUZA, B. T. DE. **Como os manguezais percebem a variabilidade climática das últimas décadas: a dendrocronologia e a dendroclimatologia da Rhizophora mangle L. em florestas de mangue em Guaratiba, Rio de Janeiro, RJ**. Tese de doutorado—Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2021.

SPALDING, M.; KAINUMA, M.; COLLINS, L. **World atlas of mangroves**. [s.l.] Routledge, 2010.

STEINKE, T. D.; CHARLES, L. M. Litter production by mangroves. I: Mgeni Estuary. **South African Journal of Botany**, v. 52, n. 6, p. 552–558, 1986.

STEINKE, T. D.; WARD, C. J. Litter production by mangroves. II. St Lucia and Richards Bay. **South African Journal of Botany**, v. 54, n. 5, p. 445–454, 1988.

SUKARDJO, S. Litter fall production and turnover in the mangrove forests in Muara Angke-Kapuk, Jakarta. **Biotrop Special Publication**, v. 37, p. 129–144, 1989.

SUKARDJO, S.; TORO, A. V. **Guideline for the protection and management of mangrove and estuarine wetlands in Indonesia**. In. Proceeding of the Symposium on New Perspective in Research and Management on Mangrove Ecosystem. Unesco, New Dehli, India. **Anais...**1988.

SUKARDJO, S.; YAMADA, I. Biomass and productivity of a *Rhizophora mucronata* Lamarck plantation in Tritih, Central Java, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 49, n. 3, p. 195–209, 1992.

SURYO HARDIWINOTO, B.; NAKASUGA, T.; IGARASHI, T. Litter Production and Decomposition of a Mangrove Forest at Ohura Bay, Okinawa. **Bulletins of the College Experiment Forests**, v. 46, n. 3, p. 577, 1989.

TAM, N. F. Y. et al. Litter production and decomposition in a subtropical mangrove swamp receiving wastewater. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 226, n. 1, p. 1–18, 1998.

TANG, H. et al. Variability and climate change trend in vegetation phenology of recent decades in the Greater Khingan Mountain area, Northeastern China. **Remote Sensing**, v. 7, n. 9, p. 11914–11932, 16 Sep. 2015.

TEAS, H. J. **Productivity of Biscayne bay mangroves**. [s.l.] University of Miami Sea Grant Program, 1976.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance. centerton: Drexel institute of technology**. [s.l.] Publications in climatology, 1955. v. 8

TOMLINSON, P. B. **The botany of mangroves**. 2009/07/10 ed. [s.l.] Cambridge University Press, 1986.

TONG, Y. F.; LEE, S. Y.; MORTON, B. The Herbivore Assemblage, Herbivory and Leaf Chemistry of the Mangrove *Kandelia obovata* in Two Contrasting Forests in Hong Kong. **Wetlands Ecology and Management**, v. 14, n. 1, p. 39–52, 2006.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. Practical Guide Wavelet Analysis. **Bams**, v. 79, n. 1, p. 1–18, 1998.

TWILLEY, R.; DAY, J. The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystems. **Ecosistemas de Manglar en America Tropical**, n. January, p. 127–152, 1999.

TWILLEY, R. R. Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments. **Maximum power: the ideas and applications of H. T. Odum**, n. January 1995, p. 43–62, Jan. 1995.

TWILLEY, R. R. et al. Litter dynamics in riverine mangrove forests in the Guayas river estuary, Ecuador. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 109–122, 1997.

TWILLEY, R. R.; 1952-. **Litter dynamics and organic carbon exchange in black mangrove (*Avicennia germinans*) basin forests in a southwest Florida estuary**, 1982.

TWILLEY, R. R.; LUGO, A. E.; PATTERSON-ZUCCA, C. Litter production and turnover in basin mangrove forests in southwest Florida. **Ecology**, v. 67, n. 3, p. 670–683, 1 Jun. 1986.

VIDAL, M. M. et al. Litter production in a fragmented Atlantic forest landscape (Ibiúna, SP): The importance of the edge and fragment size. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 521–532, 2007.

WAFAR, S.; UNTAWALE, A. G.; WAFAR, M. Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 44, n. 1, p. 111–124, 1 Jan. 1997.

WALSH, G. E. MANGROVES: A REVIEW¹¹Publication No. 154 from the Gulf Breeze Laboratory, Environmental Protection Agency, Gulf Breeze, Florida 32561 Associate Laboratory of the National Environmental Research Center, Corvallis. In: **Ecology of Halophytes**. [s.l.] Elsevier, 1974. p. 51–174.

WEST, R. J.; THOROGOOD, C. A. Mangrove dieback in Hunter River caused by caterpillars. **Australian Fisheries**, v. 44, n. 9, p. 27–28, 1985.

WHITTEN, A. J.; DAMANIK, S. J. Mass Defoliation of Mangroves in Sumatra, Indonesia. **Biotropica**, v. 18, n. 2, p. 176, 31 May 1986.

WILLIAMS, W. T.; BUNT, J. S.; DUKE, N. C. Mangrove Litter Fall in North-Eastern Australia. II. Periodicity. **Australian Journal of Botany**, v. 29, n. 5, p. 555–563, 1981.

WOOD, A. J. Eco-physiological adaptations to limited water environments. **Plant abiotic stress**, p. 1, 2005.

WOODROFFE, C. D. Litter production and decomposition in the New Zealand mangrove, *Avicennia marina* var. *resinifera*. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 16, n. 2, p. 179–188, 1 Jun. 1982.

WOODROFFE, C. D. Studies of a mangrove basin, Tuff Crater, New Zealand: I. Mangrove biomass and production of detritus. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 20, n. 3, p. 265–280, 1 Mar. 1985.

WOODROFFE, C. D. et al. Production of mangrove litter in a macrotidal embayment, Darwin Harbour, N.T., Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 26, n. 6, p. 581–598, 1 Jun. 1988.

WOODROFFE, C. D.; MOSS, T. J. Litter fall beneath *Rhizophora stylosa* griff., Vaitupu, Tuvalu, South Pacific. **Aquatic Botany**, v. 18, n. 3, p. 249–255, 1984.

YIN, Y.; LIN, P. Study on the litter fall of *Rhizophora stylosa* community in Yinluo Bay, Guangxi. **Guihaia**, v. 12, n. 4, p. 359–363, 1992.