



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Oceanografia

Camila Patricio de Oliveira

**Expansão de manguezais sobre marismas em resposta ao aquecimento
global no limite latitudinal de espécies de mangue no Atlântico Sul**

Rio de Janeiro

2018

Camila Patricio de Oliveira

Expansão de manguezais sobre marismas em resposta ao aquecimento global no limite latitudinal de espécies de mangue no Atlântico Sul

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. Gustavo Calderucio Duque Estrada

Coorientador: Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares

Rio de Janeiro

2018

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

O48 Oliveira, Camila Patricio de.
Expansão de manguezais sobre marismas em resposta ao aquecimento global no limite latitudinal de espécies de mangue no Atlântico Sul / Camila Patricio de Oliveira. – 2018.
119 f.: il.

Orientador: Gustavo Calderucio Duque Estrada.
Coorientador: Mário Luiz Gomes Soares
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Oceanografia.

1. Manguezais – Laguna (SC) – Teses. 2. Ecologia dos manguezais – Laguna (SC) – Teses. 3. Laguncularia racemosa – Laguna (SC) – Teses. 4. Dendrocronologia – Laguna (SC) – Teses. 5. Mudanças climáticas – Atlântico Sul, Oceano, Costa (Brasil, Sul) – Teses. 6. Aquecimento global – Teses. I. Estrada, Gustavo Calderucio Duque. II. Soares, Mário Luiz Gomes. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Oceanografia. IV. Título.

CDU 551.435.33(816.4)

Bibliotecária responsável: Taciane Ferreira da Silva / CRB-7: 6337

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

Assinatura

Data

Camila Patricio de Oliveira

Expansão de manguezais sobre marismas em resposta ao aquecimento global no limite latitudinal de espécies de mangue no Atlântico Sul

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.

Aprovado em 31 de julho de 2018.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gustavo Calderucio Duque Estrada (Orientador)
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Prof.^a Dra. Viviane Fernandez
Universidade Federal Fluminense

Prof.^a Dra. Cássia Farias
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Rio de Janeiro

2018

DEDICATÓRIA

À memória e vida de Matheus Passareli Simões Vieira.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Gustavo Calderúcio Duque Estrada, peça fundamental na construção deste trabalho. Agradeço pela confiança, ensinamentos, leituras, correções, amizade, paciência, e por me oferecer a oportunidade de ingressar ao NEMA. Não posso deixar de agradecer também pelo carinho e pelas palavras de incentivo, muito importante ao longo dessa trajetória.

Ao professor Mário Luiz Gomes Soares, meu coorientador, por ter me acolhido como membro do NEMA, grata por seu brilhante trabalho que inspira a cada um de nós.

À Brunna Tomaino de Souza, pela incansável ajuda na dendrocronologia, revisões, estatística, textos, mapas, imagens, detalhes e mais detalhes. Grata por ceder tanto de seu tempo para o desenvolvimento deste trabalho.

À professora Cássia Farias, muito obrigada por aceitar o convite para membro da banca. Você me acompanhou desde o processo seletivo para ingresso no PGG e estou muito feliz com sua participação nessa última etapa. Foi uma honra ser sua aluna.

À Viviane Fernandez, Vivi, obrigada por me acolher de braços abertos no NEMA, fico muito feliz com sua participação como membro da banca, você é uma profissional admirável e uma pessoa cheia de luz.

A todos os membros do NEMA. Agradeço especialmente à Ana, Breno, Clarisse, Giselle, Manu, Marciel, Michelli, Rita, Verônica, Carlinha, Willian, Lucas, Fabi, Bia, Dani, Nara, Carol e todos os estagiários do Colégio Pedro II.

Ao Marciel, obrigada por tudo, tudo mesmo. Lembrarei com muito carinho de todos os momentos, das muitas ajudas, e das trocas de experiências acadêmicas, profissionais e pessoais, das tardes de café e do fundo musical de Maria Bethânia. Nunca esquecerei do “17”, das divisões de nossas marmitas, das bananas verdes fritas de Iguape. Meu copiloto oficial nas barbeiragens a caminho dos campos, essa leoa covarde é muito feliz por ser sua amiga.

À Veronica, minha “mamãe”. Obrigada por pela amizade. Obrigada por me fazer rir. Obrigada pela preocupação e carinho. Obrigada por ser chorona também, fico mais aliviada em saber que não sou a única!

À Gisele, a pessoa mais sorridente e alto astral do Rio de Janeiro, e principalmente, a melhor cozinheira, especialista em sardinhas! Obrigada Gi, todos os dias ao seu lado são divertidos.

À Michelle, por cada palavra dita com tanto carinho e atenção. Grata por cada momento e pelo mapa, que ficou lindo demais!

À Caroline Pulita, grande amiga que a Biologia me deu de presente. Obrigada por seguir ao meu lado e por ser o portal de sentimentos bons. Além de todo bem que você me faz, ainda me presenteou com mais três tesouros raros: Nágyla, Susane e Taise, amo vocês, minhas sinceras amigas.

À minha irmã, Amanda “a parte bonita da família”. Sem você aí em Santa Catarina cuidando de tudo, não sei o que seria de mim aqui, no Rio de Janeiro. Grata por cuidar dos cachorros e do Dino, pelo incentivo e por acreditar em mim.

À querida amiga Karla, quero agradecer especialmente pela ajuda nos campos, foi muito importante, te amo Passarinha.

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, em especial ao querido André, obrigada por todo carinho, atenção e dedicação com nossas “papeladas” e prazos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, obrigada por realizarem um excelente trabalho. Vocês são exemplos de resistência em um período muito delicado de crise e sucateamento do ensino superior gratuito, que infelizmente atingiu a UERJ.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

À Policial Militar Ambiental de Laguna/SC, pela gentileza de disponibilizarem os barcos e uma equipe muito atenciosa para a realização dos campos.

Ao setor de Marcenaria da UERJ, pela ajuda com o tratamento das amostras dendrocronológicas.

Ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), EPAGRI – CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) por disponibilizarem os dados climatológicos.

Ao meu mestre, professor Sérgio Antônio Netto, que despertou em mim o amor pelo ambiente marinho. Obrigada por se fazer presente em cada momento importante, desde a graduação até hoje.

Ao Vinícius, meu grande amor e melhor amigo, obrigada pelo companheirismo. Você fez desse período mais leve e mais divertido.

Pai e mãe, por causa de vocês eu estou aqui. Grata por me amarem incondicionalmente e por não medir esforços para ver um sorriso em meu rosto! É uma honra ser a caçula de vocês.

E por fim, às irmãs Passareli, Gabe e Matheusa.

Foi um prazer dividir um lar e uma vida com vocês. Esse período foi de grandes vivências, nos encontramos, nos escolhemos, nos amamos, nos respeitamos, nos doamos e formamos um elo que nunca se romperá. Infelizmente, hoje, Matheus Passareli Simões Vieira não está mais presente em corpo. Precisamos cuidar e manter a imagem e memória da Matheusa, para que suas palavras continuem ecoando e nos libertando de um “Rio de Janeiro que continua lindo e opressor”. Theusa, você me transformou. Sigamos em frente com mais uma ferida em nosso tão forte e resistente coração brasileiro. Te amo para sempre!

A natureza criou o tapete sem fim que recobre a superfície da terra. Dentro da pelagem desse tapete, vivem todos os animais, respeitadamente. Nenhum o estraga, nenhum o róí, exceto o homem.

Monteiro Lobato

RESUMO

OLIVEIRA, Camila Patricio de. **Expansão de manguezais sobre marismas em resposta ao aquecimento global no limite latitudinal de espécies de mangue no Atlântico Sul.** 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

Atualmente existem grandes incertezas quanto à direção e magnitude da expansão dos manguezais sobre marismas em decorrência das alterações climáticas. O presente estudo contribui para o preenchimento parcial dessa lacuna de duas formas – avaliando o limite latitudinal do Atlântico Sul; e utilizando, de forma inédita, a dendrocronologia na compreensão dos processos ecológicos recentes envolvidos na resposta do manguezal. O objetivo principal é avaliar a dinâmica dos manguezais da Lagoa de Santo Antônio (Laguna - SC) de forma a verificar se estes estão se expandindo sobre os bancos de marisma locais em resposta à influência de alterações climáticas no Sul do Brasil, limite latitudinal de espécies de mangue no Atlântico Sul. Foram selecionados cinco pontos de estudos, representados pela ocorrência de manguezais em associação com marismas em suas margens. Em cada ponto foram delimitadas quatro parcelas de tamanho padrão de 25m² para caracterização estrutural de marismas (M e Mi), transição marisma/manguezal (T) e interior de manguezais (I), além de obtenção de amostras dendrocronológicas e medição de salinidade intersticial e superficial. A análise da variação histórica da temperatura se deu por meio de dados de anomalias de temperatura do ar, disponibilizados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Os resultados para salinidade podem ser considerados intermediários, indicando que este não é um fator determinante para o baixo desenvolvimento estrutural dos manguezais de Laguna. Em relação à marisma, *Spartina alterniflora* é a espécie dominante, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, não apresentou diferença significativa na altura das marismas, que se manteve relativamente constante entre as parcelas, entretanto, à medida que se aproximou do manguezal ocorreu redução do percentual de sua cobertura de vegetação. A espécie de mangue que se desenvolve na porção interior às marismas formam florestas monoespecíficas de *Laguncularia racemosa*. *Avicennia schaueriana* ocorre na região, porém, esta apresenta poucos indivíduos esparsos que não foram capturadas pelas parcelas. O maior desenvolvimento estrutural foi na parte interna dos manguezais em comparação com a transição marisma/manguezal e a análise não paramétrica Mann – Whitney indicou diferenças significativas para altura média, D_{meio} e área basal. Foi observado processo de colonização recente por plântulas e jovens de *L. racemosa* nos bancos de marismas. A análise etária indica que a transição é a zona mais jovem, com cronologia iniciada em 1991, e o interior dos manguezais em 1979. Os dados de anomalias positivas de temperatura do ar indicam tendência de elevação ao longo das últimas décadas, resultando no aumento de temperatura média anual da região, e demonstra ser um fator relevante para a fisiologia das árvores de mangue. Entretanto, a baixa precisão das cronologias afere maior incerteza às conclusões obtidas. Essa imprecisão está associada à natureza dos troncos retorcidos, resultando em lenhos de reação e, por consequência, interferência nos anéis de crescimento não relacionada a fatores externos, como o clima. De forma geral, os resultados apresentam fortes evidências de que os manguezais estão em processo de avanço sobre as marismas em Laguna/SC.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. *Laguncularia racemosa*. *Spartina alterniflora*.
Dendrocronologia.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Camila Patricio de. **Mangrove expansion on salt marshes in response to global warming on the latitudinal boundary of mangrove species in the South Atlantic.** 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

There are now major uncertainties as to the direction and magnitude of mangrove salt marsh expansion due to climate change. The present study contributes to the partial filling of this gap in two ways - evaluating the latitudinal boundary of the South Atlantic; and using, unprecedentedly, dendrochronology in the understanding of the recent ecological processes involved in the mangrove response. The main objective is to evaluate the dynamics of the mangroves at Lagoon of Santo Antonio (Laguna - SC) in order to verify if they are expanding on the local salt marsh banks in response to the influence of climate change in the South of Brazil, latitudinal limit of species of mangrove in the South Atlantic. Five points of study were selected, represented by the occurrence of mangrove in association with salt marshes along its banks. Four plots of standard size of 25m² were delimited for structural characterization of salt marshes (M and Mi), transition salt marsh/mangrove (T) and mangrove interior (I), in addition to obtaining dendrochronological samples and measurement of salinity interstitial and superficial. The analysis of the historical variation of the temperature occurred through data of anomalies of air temperature, made available by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The results for salinity can be considered intermediate, indicating that this is not a determining factor for the low structural development of Laguna mangroves. In relation to the salt marsh, *Spartina alterniflora* is the dominant specie, the nonparametric Kruskal-Wallis test did not present significant difference in the height of the salt marshes, which remained relatively constant between the plots, however, as the salt marsh was approaching the mangrove, there was a reduction of percentage of its vegetation cover. The species of mangrove that develops in the inner part to the marshes form mono specific forests of *Laguncularia racemosa*. *Avicennia schaueriana* occurs in the region, however, it presents few sparse individuals that were not captured by the plots. The biggest structural development was in the inner part of the mangroves compared to the Salt Marsh/ Mangrove transition and the non - parametric Mann - Whitney analysis indicated significant differences for mean height, mean and basal area. It was observed a process of recent colonization by seedlings and young of *L. racemosa* in the bank of salt marshes. Age analysis indicates that the transition is the youngest zone, with chronology initiated in 1991, and the interior of the mangroves in 1979. The data of positive air temperature anomalies indicate a tendency of elevation over the last decades, resulting in the increase of mean annual temperature of the region, and it proves to be a relevant factor for the physiology of mangrove trees. However, the low precision of the chronologies indicates greater uncertainty to the conclusions obtained, this imprecision is associated with the nature of the twisted trunks, resulting into a reaction to the wood and, consequently, interference in the rings of growth not related to external factors, such as the climate. In general, the results present strong evidence that mangroves are in the process of advancing on the salt marshes in Laguna / SC.

Keywords: Climate change. *Laguncularia racemosa*. *Spartina alterniflora*. Dendrochronology.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 1 – | Mapa da área (acima) e pontos de estudos (abaixo)..... | 44 |
| Figura 2 – | Esquema da estratégia amostral, representando a distribuição padronizada das parcelas em cada um dos pontos de estudo..... | 47 |
| Figura 3 – | Estratégia amostral de para caracterização da vegetação de marismas..... | 48 |
| Figura 4 – | Aplicação dos métodos para caracterização estrutural de marismas..... | 49 |
| Figura 5 – | Estratégia amostral para caracterização da vegetação de manguezais..... | 50 |
| Figura 6 – | Aplicação dos métodos para caracterização estrutural de manguezais..... | 51 |
| Figura 7 – | Aplicação dos métodos dendrocronológicos para caracterização etária de <i>L. racemosa</i> | 53 |
| Figura 8 – | Indivíduos de <i>L. racemosa</i> sem medula..... | 54 |
| Figura 9 – | Imagens digitalizadas de disco de base de troncos de <i>L. racemosa</i> | 56 |
| Figura 10 – | Amostra de <i>L. racemosa</i> após polimento..... | 57 |
| Figura 11 – | Amostra de <i>L. racemosa</i> com as marcações das medições realizadas pelo software de análise de imagens Image Pro Plus 4.5..... | 57 |
| Figura 12 – | Altura média de marismas por parcela..... | 61 |
| Figura 13 – | Gráfico Bloxplot indicando a Médiana (símbolos internos), percentis de 25 a 75% (box) e desvio mínimo e máximo (barras) de altura das marismas por zona..... | 62 |
| Figura 14 – | Contribuição em área basal de troncos vivos e mortos por parcela..... | 64 |
| Figura 15 – | Ocorrência de plântulas e jovens de <i>L. racemosa</i> (setas vermelhas) em bancos de marisma de <i>S. alterniflora</i> no ponto de estudo 1, presentes nas parcelas M1 e Mi1..... | 64 |
| Figura 16 – | $D_{\text{médio}}$ e altura média de manguezais por parcela..... | 66 |
| Figura 17 – | Contribuição em área basal de troncos vivos e mortos de <i>L. racemosa</i> com $D_{\text{meio}} < 2,5$ cm por tipo fisiográfico..... | 67 |
| Figura 18 – | Contribuição em área basal de troncos vivos e mortos de <i>L. racemosa</i> com $D_{\text{meio}} \geq 2,5$ cm por tipo fisiográfico..... | 67 |
| Figura 19 – | Gráfico Bloxplot indicando a Mediana (símbolos internos), percentis de 25 a 75% (box) e desvio mínimo e máximo (barras) de altura média (A), $D_{\text{médio}}$ (B), Área basal (C) e densidade (D) de manguezais por tipo fisiográfico..... | 69 |

| | |
|--|----|
| Figura 20 – Cronologias estandardizadas pelo ARSTAN dos indivíduos de <i>L. racemosa</i> com meduladas parcelas de transição (Total: 17) e Interior (Total: 18)..... | 71 |
| Figura 21 – Cronologia estandardizada pelo ARSTAN de todos os indivíduos (Total: 35) de <i>L. racemosa</i> com medula..... | 72 |
| Figura 22 – Gráfico Bloxplot indicando a Médiana (símbolos internos), percentis de 25 a 75% (box) e desvio mínimo e máximo (barras) da idade das amostras com medula utilizadas para a cronologia das árvores de <i>L. racemosa</i> por zona fisiográfica de transição e interior de floresta..... | 73 |
| Figura 23 – Distribuição de frequências absolutas de idade (A) e diâmetro médio (D_{meio}) (B) todas as amostras de <i>L. racemosa</i> com medula de acordo com as classes de anos e cm..... | 74 |
| Figura 24 – Distribuição de frequências absolutas de idade (A) e diâmetro médio (B) em cada tipo fisiográfico de floresta de mangue de <i>L. racemosa</i> de acordo com classes de anos e cm..... | 75 |
| Figura 25 – Regressão linear mostrando a curva de correlação entre as variáveis idade (x) e D_{meio} (y)..... | 76 |
| Figura 26 – Variação do índice de crescimento de anéis anuais de todos os indivíduos (geral) em relação ao padrão de anomalias médias de temperatura do ar anual..... | 78 |
| Figura 27 – Regressão linear entre as variáveis, anos (x) e anomalia média anual de temperatura do ar (y)..... | 78 |
| Figura 28 – Variação do índice de crescimento de anéis anuais em relação ao padrão de anomalias de temperatura do ar sazonal média..... | 79 |
| Figura 29 – Variação de largura dos anéis de crescimento de anéis anuais em relação ao padrão de anomalias de temperatura média do ar do mês de outubro..... | 83 |
| Figura 30 – Variação de largura dos anéis de crescimento de anéis anuais da transição em relação ao padrão de anomalias de temperatura média do ar do mês de março..... | 83 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabela 1 – | Latitude e longitude dos pontos de estudos na lagoa Santo Antônio..... | 45 |
| Tabela 2 – | Valor de área de cobertura segundo Braun-Blanquet (1932) e correspondência com o percentual de área de cobertura por cada espécie.... | 48 |
| Tabela 3 – | Número de amostragem de indivíduos de <i>L. racemosa</i> com medula e sem medula por parcela e por ponto de estudo, e quantidade de amostras descartadas por ponto de estudo..... | 54 |
| Tabela 4 – | Valores de salinidade média e desvio padrão dos dados de salinidade..... | 59 |
| Tabela 5 – | Percentual de cobertura vegetal e altura de marismas nos pontos de estudos analisados..... | 60 |
| Tabela 6 – | Densidade, diâmetro médio (D_{meio}), altura média (\pm desvio padrão), área basal, contribuição de troncos em área basal viva e morta e relação troncos/indivíduos de <i>L. racemosa</i> | 65 |
| Tabela 7 – | Resultados da análise não paramétrica Mann – Whitney para os parâmetros de estrutura de manguezais. Os testes são significativos em $p < 0,05$ | 68 |
| Tabela 8 – | Resumo dos dados gerados pelo COFECHA para as zonas de transição e interior e todos os indivíduos (transição + interior) com índice de correlação e sensibilidade média. Todas correlações possuem $< 0,01$ | 71 |
| Tabela 9 – | Resumo dos dados gerados pelo COFECHA para as parcelas dos tipos fisiográfico de transição e interior, com número de indivíduos por parcela, índice de correlação e sensibilidade média para as árvores de <i>L. racemosa</i> . Todas correlações possuem $< 0,01$ | 71 |
| Tabela 10 – | Resultados da análise não paramétrica Mann – Whitney para idade das árvores de <i>L. racemosa</i> com cerne utilizadas para a construção das cronologias. Os testes são significativos em $p < 0,05$ | 73 |
| Tabela 11 – | Resultados do teste Kolmogorov-Smirnov com distribuições distintas entre transição e interior de manguezais ($D\alpha < D$) entre as frequências das classes de idade e D_{meio} | 75 |
| Tabela 12 – | Resumo dos dados com número de indivíduos com cerne por parcela, médias, mínimo e máximo de D_{meio} e idade..... | 75 |

| | |
|--|----|
| Tabela 13 – Idade estimada de indivíduos de <i>L. racemosa</i> sem medula a partir de cálculo de regressão linear..... | 77 |
| Tabela 14 – Índices de anomalias de temperatura do ar referente ao período de crescimento das árvores de <i>L. racemosa</i> em Laguna/SC, 1979 a 2015, de acordo com os dados da NOAA..... | 80 |
| Tabela 15 – Resultados (valor de r) do teste de matriz de correlação entre as cronologias estandardizadas de todos os indivíduos com medula e as médias sazonais e anuais de anomalia de temperatura. Todas as correlações apresentaram $p > 0,05$ | 81 |
| Tabela 16 – Resultados do teste de matriz de correlação (r) entre as cronologias estandardizadas geral (todos os indivíduos), de transição e interior de manguezais com médias mensais de anomalia de temperatura do ar..... | 81 |
| Tabela 17 – Índices de anomalias de temperatura do ar referente aos meses de início de crescimento das árvores de <i>L. racemosa</i> em Laguna/SC, entre o período de 1979 a 2015 de acordo com os dados da NOAA. Índices médios mensais..... | 82 |
| Tabela 18 – Estrutura, fisionomia e composição de espécies das florestas de mangue na costa brasileira e em seus limites latitudinais globais..... | 89 |
| Tabela 19 – Estudos revisados por Osland et al. (2016) indicando a região mundial e os fatores climáticos que regem a distribuição do ecossistema manguezal... | 98 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| CCM | Complexos Convectivos de Mesoescala |
| Cfa | Clima subtropical úmido |
| CIRAM | Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina |
| COOP | <i>Cooperative Observer Program</i> |
| DNAEE | Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica |
| ENOS | El Niño Oscilação Sul |
| GHCN-M | <i>Global Historical Climatology Network-Monthly</i> |
| GTS | <i>Global Telecommunication System</i> |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| MCDW | <i>Monthly Climatic Data for the World</i> |
| NCDC | <i>National Climatic Data Center</i> |
| NMRM | Nível Médio Relativo Do Mar |
| NOAA | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> |
| PBMC | Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas |
| PDO | <i>Pacific Decadal Oscillation</i> |
| SIRLESC | Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina |
| SISBIO | Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade |
| WMO | <i>World Meteorological Organization</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1 | OBJETIVOS | 20 |
| 1.1 | Objetivo Geral | 20 |
| 1.2 | Objetivos Específicos | 20 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 21 |
| 2.1 | Aspectos gerais de manguezais e marismas | 21 |
| 2.2 | Importância de manguezais e marismas | 23 |
| 2.3 | Distribuição de manguezais e marismas | 25 |
| 2.4 | Expansão e domínio de manguezais sobre marismas em resposta a mudanças climáticas | 29 |
| 2.5 | Mudanças climáticas e as previsões para o Brasil | 32 |
| 2.6 | Estudo do clima através de cálculos de anomalias de temperatura do ar | 35 |
| 2.7 | Dendrocronologia e suas aplicações | 36 |
| 2.8 | Dendrocronologia em manguezais | 39 |
| 3 | METODOLOGIA | 41 |
| 3.1 | Área de estudo | 41 |
| 3.2 | Salinidade | 43 |
| 3.3 | Estratégia amostral e caracterização estrutural da vegetação | 45 |
| 3.3.1 | <u>Estratégia amostral</u> | 45 |
| 3.3.2 | <u>Caracterização de marismas</u> | 47 |
| 3.3.3 | <u>Caracterização estrutural de manguezais</u> | 49 |
| 3.4 | Análise dendrocronológica das Florestas de Mangue | 52 |
| 3.5 | Análise da variação histórica da temperatura do ar por meio de dados de anomalias de temperatura do ar | 58 |
| 4 | RESULTADOS | 59 |
| 4.1 | Salinidade | 59 |
| 4.2 | Caracterização estrutural de marismas | 59 |
| 4.3 | Caracterização estrutura de manguezais | 62 |
| 4.3.1 | <u>Composição de espécies</u> | 62 |
| 4.3.2 | <u>Desenvolvimento estrutural</u> | 63 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.3.3 | <u>Análises estatísticas</u> | 68 |
| 4.4 | Análise dendrocronológica | 69 |
| 4.4.1 | <u>Caracterização etária</u> | 69 |
| 4.4.2 | <u>Análises estatísticas</u> | 72 |
| 4.5 | Análise dendroclimatológica | 77 |
| 5 | DISCUSSÃO | 84 |
| 5.1 | Salinidade | 84 |
| 5.2 | Caracterização estrutural de marismas | 85 |
| 5.3 | Estrutura de manguezais | 86 |
| 5.4 | Dendrocronologia | 93 |
| 5.5 | Dendroclimatologia | 96 |
| | CONCLUSÃO | 100 |
| | REFERÊNCIAS | 102 |
| | APÊNDICE – Tabela com dados de correlações, sensibilidade média e ano inicial de crescimento gerados pelo COFECHA para cada amostra com medula de transição e interior de manguezais..... | 118 |
| | ANEXO – Comprovante de registro para coleta de material biológico, emitido pelo Ministério do Meio Ambiente | 119 |

INTRODUÇÃO

Marismas e manguezais são ecossistemas entremarés de alta relevância ecológica, pois, dentre suas diversas funções, atuam como berçários para a fauna estuarina e apresentam condições propícias para a reprodução, alimentação e desenvolvimento de muitas espécies animais, incluindo, peixes e crustáceos. Estes ecossistemas são constituídos por espécies vegetais altamente adaptadas às variações de salinidade e ao rigor ambiental desenvolvendo-se sobre solos salinos e pouco oxigenados em função de inundações periódicas pelas marés (LANA, 2003; SCHAEFFER-NOVELLI, 1989; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016).

As marismas são compostas de plantas de variadas famílias de macrófitas emergentes, mas geralmente dominadas por herbáceas das famílias das gramíneas, ciperáceas ou juncáceas (COSTA e DAVY, 1992; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016; VALGAS, 2009). Já o manguezal é um ecossistema caracterizado por vegetação lenhosa típica (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000; SOARES, 1997; TOMLINSON, 1986), com sistema radicular que sustenta a planta frente a um sedimento inconsolidado e estruturas de respiração que permitem a troca gasosa com o meio externo (DUKE et al., 1998; SCHAEFFER-NOVELLI, 1995, SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000).

Marismas e manguezais possuem tolerância relativamente similar à salinidade, mas distinta no que se refere à temperatura. As marismas são as formações dominantes ao longo das zonas entremarés abrigadas de regiões temperadas, enquanto os manguezais são restritos às áreas tropicais e subtropicais (KELLEWAY et al., 2017; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016). A distribuição dos manguezais é geralmente limitada a regiões onde a temperatura média do mês mais frio é superior a 20°C, a amplitude térmica anual é inferior a 5°C e a ocorrência de geadas é inferior a 1 evento/ano (CHAPMAN, 1976; ELLISON, 2000). Em regiões tropicais e subtropicais os dois ecossistemas coexistem, porém, a dominância de manguezais é definida por exclusão competitiva. Desta maneira, a ocorrência de marismas é limitada a refúgios, como áreas hipersalinas e sobre áreas lavadas pelas marés (LANA, 2003; SOARES et al., 2012).

No Brasil, os manguezais ocorrem desde Oiapoque (4°20'N) no estado do Amapá, extremo norte do país, até Laguna (28°30'S) em Santa Catarina, seu limite sul de ocorrência (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000; SOARES et al., 2012). Por outro lado, ao longo da maior parte da costa brasileira as marismas podem variar de poucos metros a dezenas de quilômetros de extensão. Contudo, é a partir de Laguna que as marismas passam a ser o ecossistema predominante na zona entremarés das regiões estuarinas.

Deste modo, a cidade de Laguna é considerada uma importante fronteira biogeográfica, onde ocorre a mudança de domínio de formações vegetais na linha de costa, com limitação do crescimento de manguezais e início de formação de extensos bancos de marismas em direção ao sul.

A partir desse limite de distribuição latitudinal ao sul, a ausência de manguezais é controlada pelo clima rigoroso, como baixas temperaturas do ar e frequência de geadas. Além disso, as características oceanográficas e geomorfológicas dificultam a entrada de propágulos provenientes de outras áreas providas de manguezais mais ao norte (SOARES et al., 2012). Isso ocorre devido a presença de correntes de deriva litorânea com sentido norte e, ao sul de Laguna, o litoral é caracterizado por lagunas costeiras com conexão restrita com o mar.

Entretanto, estudos recentes (KELLEWAY et al., 2017; OSLAND et al., 2013; SAINTILAN et al., 2014; SOARES et al., 2012) enfatizam que alterações no clima, como o aumento da temperatura do ar em resposta ao aquecimento global, podem provocar mudanças nos padrões globais de distribuição de espécies de mangue, em especial as que vivem em região de limite latitudinal (SAMPAIO et al., 2008; SOARES et al., 2012). Como exemplo, tem-se estudos que apontam que nos últimos anos foi observado que o limite latitudinal de ocorrência das espécies de mangue está avançando e se expandindo sob formações de marismas adjacentes em latitudes mais altas em resposta às alterações no clima (ALONGI, 2015; CAVANAUGH et al., 2014; ELLISON, 2000; FIELD, 1995; GIRI e LONG, 2016; GODOY e LACERDA, 2015; PERRY e MENDELSSOHN, 2009; SAINTILAN et al., 2014; STEVENS et al., 2006; WOODROFFE e GRINDROD, 1991).

O que também pode ocorrer, mesmo que não haja migração latitudinal, é que as condições climáticas nessas regiões limítrofes, onde estes ecossistemas coexistem, se tornem mais favoráveis para os manguezais (ARMITAGE et al., 2015; SOARES et al., 2008). Nesse contexto, os manguezais aumentam sua representatividade e estrutura, se expandindo localmente sobre as marismas, ou seja, uma expansão mais lenta (SOARES et al., 2008), como reportado por Saintilan et al. (2014).

Assim, por todos os atributos apresentados e tendo em vista a relevância destes ecossistemas como fornecedores de bens e serviços ecossistêmicos, as implicações ecológicas da possível expansão dos manguezais sobre marismas não foram totalmente investigadas. Devido a isso, existem grandes incertezas quanto à direção e magnitude dessas mudanças em decorrência da intensificação das alterações climáticas, o que desperta, por sua vez, o interesse sobre as respostas dos manguezais a essas alterações, em especial no sul do Brasil, limite latitudinal de espécies de mangue no Atlântico Sul.

Desta forma, o presente estudo pretende contribuir para o preenchimento dessas lacunas de duas formas – avaliando o limite latitudinal do Atlântico Sul ainda não estudado sob esta ótica; e utilizando, de forma inédita, a dendrocronologia como ciência para auxiliar a compreensão dos processos ecológicos recentes envolvidos na resposta do ecossistema de manguezal frente às mudanças climáticas.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo principal avaliar a dinâmica dos manguezais da Lagoa de Santo Antônio (Laguna - SC) de forma a verificar se estes estão se expandindo sobre os bancos de marisma locais em resposta à influência de mudanças ou oscilações climáticas no Sul do Brasil.

1.2 Objetivos específicos

Com base no objetivo apresentado acima, foram elaboradas as seguintes questões com o intuito de atender o objetivo geral:

- a) O desenvolvimento estrutural de manguezais na transição com marismas é menor do que no interior do manguezal?
- b) A idade das árvores na transição marisma/manguezal é menor do que no interior das manchas de manguezal?
- c) O comportamento climático da região de Laguna (SC) entre os anos de 1979 a 2015 apresentam evidências de mudança ou oscilação bem marcada?
- d) Variações interanuais da temperatura do ar, influenciam a cronologia de árvores de mangue em seu limite de distribuição latitudinal?

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Aspectos gerais de Manguezais e Marismas

Marismas são ecossistemas costeiros estuarinos intermareais que ocorrem em áreas de deposição marinha recente, regular ou irregularmente inundadas por águas salinas ou salobras (COSTA et al., 2013). Desenvolvem-se em áreas abrigadas, nas quais o impacto direto de ondas é reduzido. Porém, seu estabelecimento e crescimento está intimamente ligado com a disponibilidade de nutrientes, concentração de oxigênio no substrato (SILIMAN e ZIEMAN, 2001), topografia local, amplitude de marés e o aporte de água doce (ADAM, 1993; LANA 2003).

As marismas são compostas por plantas perenes ou anuais emersas (COSTA e DAVY, 1992; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016), enraizadas, folhas de morfologia suculentas, cujos rizomas se conectam aos sedimentos não consolidados (ADAM, 1993). São representadas por famílias de macrófitas emergentes, mas comumente dominadas por herbáceas das famílias das gramíneas, ciperáceas ou juncáceas (VALGAS, 2009). Dentre a gama de espécies que compõem as marismas, o gênero *Spartina* sp. da família Gramineae, é o mais comum. Possui característica halófito facultativa e metabolismo fotossintético C4, de alta eficiência hídrica por carbono assimilado (NIEVA et al., 2001). Cerca de 14 espécies de *Spartina* sp. são naturais de marismas, praias ou dunas da América, Europa e África (SMITH et al., 1981).

Essas plantas formam faixas contínuas ou manchas isoladas em baías, estuários ou rios, aumentam as taxas de sedimentação local ao diminuírem a velocidade das correntes marinhas. Dessa forma, se essa taxa de acreção sedimentar for contínua, a marisma pode se transformar em um ambiente ideal para a instalação de espécies arbóreas típicas de mangue (LANA, 2003), pois possui comportamento de colonização de espécies pioneiras nos trópicos e subtropicais. Já em zonas intermarés de regiões temperadas, as marismas são o ecossistema dominante (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989) em ambientes estuarinos.

O Manguezal é um ecossistema caracterizado por uma vegetação lenhosa (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000; SOARES, 1997; TOMLINSON, 1986), composta por espécies halófitas facultativas (DUKE et al., 1998; SCHAEFFER-NOVELLI, 1995, SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000). O sucesso da colonização de árvores de mangue em ambientes tão hostis deve-se também ao seu sistema radicular que sustenta a planta frente a um

sedimento inconsolidado (DUKE e WATKINSON, 2002; TOMLINSON, 1986). Um exemplo são as raízes radiais, estruturas ramificadas que permitem a fixação das espécies de *Avicennia* sp. e *Laguncularia* sp. Já, a espécie *Rhizophora mangle*, garante sua fixação por meio dos rizóforos, que são projeções do caule, comumente denominadas raízes-escora.

Chapman (1976), Soares (1997) e Walsh (1974) descrevem algumas condições básicas para a ocorrência e o melhor desenvolvimento dos manguezais:

- a) Temperatura média do mês mais frio superior a 20°C e amplitude térmica anual inferior a 5°C;
- b) Substrato aluvial (lamoso), mas pode ocorrer também em substrato arenoso ou calcário;
- c) Ambientes com presença de água salgada;
- d) Ambientes costeiros abrigados, com baixa energia hidrológica;
- e) Presença de planície costeira associada à amplitude das marés;
- f) Correntes oceânicas com temperatura da água e direção favoráveis, que poderiam controlar a dispersão dos propágulos e assim determinar limites biogeográficos de distribuição devido à temperatura.

Essas condições supracitadas são fatores que determinam a ocorrência de manguezais em escala global, hoje, sabe-se que tais condições podem ser variáveis em determinadas regiões e os atributos estruturais e funcionais de cada manguezal são regidos pela interação de fatores em escala regional (SOARES et al., 2003) e fatores em escala local (por exemplo, gradientes de frequência de inundação pelas marés).

O modelo de assinatura energética (ODUM, 1994) descreve os compartimentos de energia que operam sobre os ecossistemas e que, por consequência, influenciam seus processos como produção primária, respiração, ciclagem de nutrientes e troca de matéria orgânica com ecossistemas adjacentes e desenvolvimento estrutural. Assim, os manguezais são subsidiados por forças externas como energia solar, aporte de água doce e de nutrientes e energia das marés, as quais, vão controlar os atributos citados de cada manguezal de acordo com a intensidade das energias externas locais. Este modelo foi descrito por Cintron-Molero e Schaeffer-Novelli (1983, 1984), Cintron-Molero et al. (1985), Lugo et al. (1990), Schaeffer-Novelli et al. (1990) e Twilley (1995).

Marismas e manguezais possuem espécies vegetais altamente adaptadas às variações de salinidade e ao rigor ambiental desenvolvendo-se sobre solos salinos, instáveis e pouco oxigenados em função de inundações periódicas. São ecossistemas complexos, resilientes e

resistentes e, portanto, estáveis (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016). Os manguezais ocorrem em zonas entremarés de regiões tropicais e subtropicais mundiais (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989), sua distribuição é restringida principalmente pela latitude, temperatura e, em menor grau, por aridez (DUKE et al., 1999; SAINTILAN et al., 2009). Já as marismas ocorrem em regiões de climas tropicais a árticos, embora sua extensão e diversidade de espécies sejam frequentemente maiores em latitudes mais altas, onde os manguezais estão ausentes (ADAM, 1993). Entretanto, esses dois ecossistemas podem coexistir quando seus limites de distribuição se superpõem (LANA, 2003; SOARES et al., 2012).

Devido sua localização na zona costeira, estes ecossistemas estão expostos a distúrbios naturais e antrópicos frequentes.

A maior parte dos fenômenos naturais afetam estes ambientes de forma temporária, o que possibilita sua regeneração (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016). Entretanto, os impactos induzidos pelo homem podem causar prejuízos em longo prazo, pois a maioria da população e as principais atividades econômicas mundiais estão diretamente ligadas às zonas costeiras (ALONGI, 2002; KRAUSS et al., 2011). Assim, os impactos mais comumente observados sobre marismas e manguezais são: expansão portuária, dragagens, aterros, descarte de esgotos domésticos e industriais sem o devido tratamento, carcinicultura, rejeito de resíduos sólidos e desmatamento (LANA, 2003; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016).

Dessa forma, pelas características estruturais de suas florestas, os manguezais podem indicar os níveis de vulnerabilidade, degradação e estresse em que o ecossistema está inserido (CINTRÓN-MOLERO e SCHAEFFER-NOVELLI, 1992; PELLEGRINI et al., 2009) graças ao seu alto grau de plasticidade fenotípica (CINTRÓN-MOLERO e SCHAEFFER-NOVELLI, 1992).

2.2 Importância de manguezais e marismas

Marismas e manguezais são considerados os principais sistemas vegetais das zonas úmidas costeiras, em escala global (LANA, 2003). Dentre os bens e serviços fornecidos, atuam na proteção das margens, impedindo a erosão marinha, e controlando a energia de ventos e ondas nas linhas costeiras (KELLEWAY et al., 2017; KRAUSS et al., 2007; MAZDA et al.,

2006; NAGELKERKEN et al., 2008; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016; SOARES, 1997), devido à sua capacidade de atenuar ondas (KOCH et al., 2009).

Entretanto, Adam (1993) revela que a eficiência dessas formações na redução do impacto de tempestades e níveis de marés não depende apenas de sua extensão, mas também da natureza de sua superfície. Para Kelleway et al. (2017) o fornecimento de proteção de marismas e manguezais varia no espaço e no tempo devido a mudanças nas características da vegetação, geomorfologia costeira, e distúrbios das ondas. Os mesmos autores citam que as principais características vegetais são a largura, a densidade e a estrutura de suportes, como troncos, folhas e raízes aéreas que atuam como dissipadores contra a energia das ondas.

Em um estudo, Cuc et al. (2015) modelou a dissipação de ondas por manguezais no Vietnã e encontrou maior atenuação das ondas em árvores de mangue que possuem rizóforos. Existe também relatos de uma relação positiva entre a biomassa permanente e a atenuação das ondas entre as espécies de marisma (YSEBAERT et al., 2011). Além disso, Soares (1999) menciona que os manguezais, mesmo oferecendo retenção e deposição de sedimentos, são vulneráveis às variações de hidrodinâmica devido a seu sistema radicular estar disposto a poucos centímetros abaixo do substrato. Para Alongi e Carvalho (2008) e Spalding et al. (2010), o manguezal deve ser amplo para ter um efeito significativo na atenuação da energia associada a eventos extremos da maré e tempestades.

Devido às diferenças no crescimento e estrutura vegetal de marismas e manguezais, suas taxas de geração de biomassa de detritos, matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e carbono, podem ser distintas. Já os serviços ecossistêmicos que fornecem são de importância similar (KELLEWAY et al., 2017; LANA, 2003; PERRY e MENDELSSOHN, 2009; OSLAND et al., 2013). Por exemplo, Currin, et al. (1995) citam que muitas espécies de marismas reciclam quase toda sua biomassa aérea anualmente. Brock e Weinig (2007) ressaltam a habilidade dessas herbáceas como aceleradoras nos processos de ciclagem por acumularem nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P). Diferente de marismas, os manguezais conferem biomassa em estruturas de armazenamento de longo prazo (por exemplo, madeira) e possuem eficaz participação no sequestro de carbono atmosférico, estocando-o em sua biomassa vegetal aérea, subterrânea e no sedimento (DONATO et al., 2011; ESTRADA et al., 2013). Devido à alta produtividade primária e à decomposição microbiana lenta, marismas e manguezais mantêm as taxas de estoques e armazenamento de carbono do solo tipicamente maiores do que as paisagens terrestres e florestas (DONATO et al., 2011; OSLAND et al., 2013).

Manguezais e marismas são considerados verdadeiros berçários para fauna estuarina (LANA, 2003; SCHAEFFER-NOVELLI, 1995, SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016), atuam

nos processos de formação e decomposição da matéria orgânica, influenciam diretamente na ciclagem de nutrientes e geração de detritos que contribuem para a formação da base das cadeias alimentares (KELLEWAY et al., 2017). Tais condições são propícias para alimentação, reprodução e desenvolvimento de muitas espécies bentônicas e pelágicas (BERCHEZ et al., 2008; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016), incluindo aquelas de importância econômica (NETTO e LANA, 1999).

Sobre suporte para atividades recreativas e científicas, Schaeffer-Novelli (1989) afirma que marismas têm sido utilizadas para fins educativos em regiões temperadas, com a realização de estudos científicos relacionados aos padrões de zonação e para a execução de exercícios descritivos e testes experimentais, devido à sua baixa diversidade específica. As marismas destacam-se ainda como locais para atividades com turismo, caça e pesca esportiva, além da observação de aves (KELLEWAY et al., 2017).

Ademais, os manguezais apresentam-se excepcionalmente importantes para o sustento de populações litorâneas, em destaque nas regiões tropicais, onde esses ecossistemas tendem a ser mais desenvolvidos e tradicionalmente mais explorados para fins extrativistas e pesqueiros (SOARES, 1997).

2.3 Distribuição de manguezais e marismas

Sabe-se que marismas e manguezais compartilham uma posição de paisagem semelhante nas zonas entremarés de litorais de baixa energia. Porém, a combinação única de baixas temperaturas junto com a tensão causada pela salinidade resulta na exclusão de plantas lenhosas nessas zonas em latitudes onde o congelamento é uma ocorrência regular (KELLEWAY et al., 2017; STUART et al., 2007).

Entretanto, os mecanismos que excluem plantas lenhosas em latitudes elevadas permanecem pouco conhecidos, salvo estudo de Stuart et al. (2007). Estes autores sugerem que o congelamento nessas regiões limita a capacidade das plantas de fornecerem água às suas folhas. Deste modo, a existência de espécies vegetais herbáceas pode ser compatível com temperaturas frias, pois apesar de também sofrerem congelamento, essas plantas não precisam investir em muitos anos de crescimento lenhoso antes da reprodução (STUART et al., 2007). As marismas, ocorrem desde climas tropicais a árticos, embora dominem os ambientes onde as isothermas oceânicas de inverno caem abaixo de 10°C (DUKE et al., 1998; PENNINGGS e

BERTNESS, 2001). Em zonas temperadas, onde os manguezais estão ausentes, a extensão e diversidade de espécies de marismas são maiores (ADAM, 1993; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016). Na América Latina, sua latitude máxima de ocorrência é de 32°N (COSTA e DAVY, 1992).

A diversidade florística encontrada em marismas demonstra a variação latitudinal, com menor diversidade perto do Equador (cinco espécies) e maior riqueza na zona temperada (vinte espécies) (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016). Esta diversidade é dependente da temperatura do ar, mas é afetada localmente pela presença de gradientes de salinidade e duração da inundação pelas marés (KELLEWAY et al., 2017). Além disso, é importante destacar que esse padrão de variação latitudinal é resultado da intensa competição por espaço e sombreamento (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016) com outras espécies vegetais lenhosas (Exemplo: mangue), resultando em menor desenvolvimento e complexidade estrutural em regiões tropicais.

No Brasil, Smith et al. (1981) citam 3 espécies de *Spartina* sp. ocorrentes para o Estado de Santa Catarina: *S. alterniflora*, *S. densiflora* e *S. ciliata*, sendo as duas primeiras encontradas em interface com manguezais e a última em restinga.

As florestas de mangue desenvolvem-se melhor em regiões tropicais com abastecimento apropriado de sedimentos finos, alta pluviosidade ou abundante fornecimento de água doce através da descarga dos rios (WALSH, 1974). A distribuição de manguezais é restringida principalmente pela latitude, temperatura e, em menor grau, por aridez (DUKE et al. 1998; FRIESS et al., 2011; SAINTILAN et al., 2009) e globalmente por correntes oceânicas (ALONGI, 2002).

As condições ideais de temperatura ao desenvolvimento dos manguezais se dão em temperaturas médias acima de 20° C no inverno, com a média das temperaturas mínimas não inferiores a 15 °C, e uma amplitude térmica anual menor que 5°C (ALONGI, 2002; DUKE et al, 1998; SOARES et al., 2012; TOMLINSOM, 1986). A copa das árvores de mangue alcança seu desenvolvimento máximo próximo à linha do Equador (ALONGI, 2002; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2000). Conforme estas florestas se distanciam da zona equatorial, as condições climáticas vão gradualmente ficando menos favoráveis ao seu desenvolvimento, e conseqüentemente o porte da vegetação tende a diminuir (CINTRÓN-MOLERO e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983), devido ao clima mais rigoroso (SOARES et al., 2012). Desta forma, as florestas de mangue se distribuem nas regiões tropicais e subtropicais do globo estendendo-se, com algumas exceções, entre as latitudes 30° N e 30° S (GIRI et al., 2011) e cobrem um total de 15.200.000 ha de áreas costeiras em 123 países (SPALDING et al., 2010).

Estes autores citam que no Brasil, os manguezais ocupam uma área estimada maior que 13.000 km², ocupando o segundo lugar globalmente em termos de área, com cerca de 7 a 8,5% da área global de manguezais no mundo.

No mundo são conhecidas aproximadamente 56 espécies de mangue, distribuídas em 13 famílias e 20 gêneros (DUKE et al., 1998). Dentre essas, seis espécies ocorrem no Brasil: *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, *R. racemosa*, *Avicennia schaueriana*, *A. germinans*, e *Laguncularia racemosa* (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989).

Na costa brasileira os manguezais se distribuem desde a cidade de Oiapoque (4° 20' N), no estado do Amapá, até o litoral sul brasileiro no sistema estuarino da cidade de Laguna (Latitude 28° 30' S), estado de Santa Catarina, seu limite de ocorrência no Atlântico Sul (CINTRÓN-MOLERO e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990, SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016; SOARES et al., 2012).

Por outro lado, ao longo de toda costa tropical e subtropical brasileira as marismas podem variar de poucos metros a dezenas de quilômetros de extensão. As mais extensas estão localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, dominadas por *Spartina* sp., *Juncus* sp., *Paspalum* sp., *Sesuvium* sp., e *Bacopa* sp., entre outros (MARANGONI e COSTA, 2009). As marismas ocorrem ao longo de costas abrigadas, associadas a condições ambientais que permitam a fuga da competição com espécies de mangue, como em planícies hipersalinas (PELLEGRINI, 2000) e em formações pioneiras em faixas estreitas e descontínuas em franjas de manguezais (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016). Entretanto, a partir do município de Laguna (SC), as marismas passam a ser o ambiente vegetado predominante das regiões entremarés estuarinas (CINTRÓN-MOLERO e SCHAEFFER-NOVELLI, 1992).

Em locais onde as distribuições de marismas e manguezal se sobrepõem, elas podem formar comunidades adjacentes e/ou ecótonos na zona intermarés (OSLAND et al., 2013), as marismas formam franjas que estão frequentemente em zonas menos elevadas que os manguezais, que as torna sujeitas a maior exposição frente às inundações (PATTERSON et al., 1997). Como é o caso de Laguna, onde é possível observar extensos bancos de marismas margeando pequenas florestas de mangue. Estas florestas em sua maioria exibem-se de forma descontínua interna às marismas ou nas margens da mesma. Deste modo, como citado anteriormente, a região de Laguna é considerada uma importante fronteira biogeográfica, onde ocorre a mudança de domínio de formações vegetais na linha de costa brasileira, com limitação do crescimento de manguezais e início de formação de extensos bancos de marismas em direção ao sul.

Schaeffer-Novelli et al. (1990) dividem a costa brasileira em 8 segmentos em função de suas características fisiográficas, climáticas e oceanográficas, relacionando os mesmos à ocorrência e desenvolvimento de manguezais e descrevem a distribuição de espécies e os atributos estruturais em cada segmento. De acordo com esses autores, os manguezais de Laguna estão associados ao Segmento VII, que compreende a extensão litorânea de Cabo Frio (RJ) até Torres (RS). Neste segmento a espécie *R. mangle* tem seu limite de distribuição latitudinal sul na Praia do Sonho (27°30'S) na cidade de Palhoça (SC), e as espécies *A. schaueriana* e *L. racemosa* no sistema estuarino de Laguna (28°30'S) (SC). Onde *L. racemosa* geralmente ocorre como arbustos baixos com menos de 2 m de altura, enquanto *A. schaueriana* atinge cerca de 9 m de altura, associados com *Paspalum* sp., *Spartina* sp., *Scirpus* sp. e *Juncus* sp. (SOARES et al., 2012).

A partir desse limite de distribuição latitudinal em direção ao sul, a ausência de manguezais é controlada pelo clima rigoroso, como baixas temperaturas de ar e frequência de geadas que causa danos às membranas vivas das células formando uma barreira fisiológica para o avanço de manguezais, e características oceanográficas como a presença de correntes de maré (SOARES et al., 2012). Duke et al. (1998) citam que as baixas temperaturas das águas e terras mais secas proporcionam falta de continuidade de um hábitat adequado para a colonização de plantas de mangue e também podem ajudar a estabelecer o intervalo geográfico de distribuição de manguezais. A ocorrência de geadas provoca a morte prematura principalmente de propágulos e de folhas (ELLIS et al., 2006; KRAUSS et al., 2007), limitação de crescimento e de desenvolvimento, além de ocasionar embolia no xilema secundário, levando à morte de árvores de mangue (STUART et al., 2007).

De modo funcional, a distribuição destes ecossistemas está intimamente relacionada ao clima. Entretanto, estudos recentes (KELLEWAY et al., 2017; OSLAND et al., 2013; SOARES et al., 2012; SAINTILAN et al., 2014;) enfatizam que alterações no clima podem provocar mudanças nos padrões globais de distribuição de espécies vegetais, em especial as que vivem em região de transição, incluindo árvores de mangue.

2.4 Expansão e domínio de manguezais sobre marismas em resposta a mudanças climáticas

Os limites de distribuição latitudinal de espécies vegetais estuarinas, consistem em mosaicos dinâmicos que são influenciados diretamente pelo clima local, regional e global (KELLEWAY et al., 2017; OSLAND et al., 2015, 2016; YANDO et al., 2016). Logo, o aquecimento global pode provocar mudanças nos padrões globais de distribuição destas espécies (SAMPAIO et al., 2008; SOARES et al., 2012). Isso deve-se ao fato de que alguns tipos de florestas podem se beneficiar da mudança do clima, particularmente as que se encontram hoje limitadas por seus requisitos mínimos de temperatura e precipitação (KRUG, 2008). As alterações provocadas pelo aumento da concentração atmosférica de CO₂, exercem mudanças nos ciclos fisiológicos, reprodutivos e de crescimento, influenciando na distribuição e no tamanho das populações vegetais e suas inter-relações (ASHMORE, 2005; KRUG, 2008).

Nos últimos anos, foi observado que o limite latitudinal de ocorrência de espécies de mangue pode estar passando por mudanças globais (KELLEWAY et al., 2017; SOARES et al., 2012), através da expansão das florestas de mangue sobre formações de marismas adjacentes em latitudes mais altas onde seus limites se sobrepõem, em resposta as alterações no clima (ALONGI, 2015; CAVANAUGH et al., 2014; ELLISON, 2000; FIELD, 1995; GIRI e LONG, 2016; GODOY e LACERDA, 2015; MORRISEY et al, 2010; SAINTILAN et al., 2014; WOODROFFE e GRINDROD, 1991).

Como exemplo, tem-se os estudos de Stevens et al. (2006), que examinaram uma área na Flórida (EUA), onde marismas (*S. alterniflora*) colonizaram uma planície após a mortandade em massa de florestas de *A. germinans* decorrentes de eventos de congelamento. Porém, após uma década de invernos com temperatura mais amena e diminuição de dias frios, os manguezais estão em processo de recuperação e expansão sob as marismas. Os mesmos autores preveem que a expansão completa de manguezais deverá ocorrer entre os próximos 30 a 40 anos, devido à elevação da temperatura, que por sua vez é influenciada pelas mudanças climáticas globais.

Perry e Mendelson (2009) descrevem, para Lousiana (EUA), a expansão e colonização da espécie de mangue *A. germinans* sobre bancos de marismas da espécie *S. alterniflora*, devido a quase duas décadas de invernos com temperatura mais elevadas que o normal. Já Armitage et al. (2015) documentaram no Texas, (USA) na costa oeste do Golfo do México a expansão de manguezais (*A. germinans*) sobre marismas (*S. alterniflora*) no período entre 1990 e 2010, a

área de marisma diminuiu 24% (77,8 km²) de sua cobertura. Deste total, 6% foi por expansão de manguezais devido à incidência de temperaturas mais amenas no inverno e o restante foi pela elevação do nível médio relativo do mar.

Essa transição mundial de expansão de vegetação lenhosa sob a herbácea tem sido atribuída ao aumento da temperatura (ALONGI e CARVALHO, 2008; STUART et al., 2007) e diminuição da frequência de dias frios no inverno (OSLAND et al., 2015; OSLAND et al., 2016; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016; SOARES et al., 2012; YANDO, et al., 2016). Estas forçantes agem diretamente em manguezais aumentando a produção, dispersão e estabelecimento do propágulo (ALONGI, 2015; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016). Já a temperatura elevada sob marismas e manguezais altera a transferência de carbono e o metabolismo das plantas pertencentes a cada ecossistema (ALONGI, 2015; SAENGER, 2002), resultando em taxas maiores de crescimento, reprodução, fotossíntese, respiração, alterações na estrutura da comunidade (ALONGI, 2015).

Além disso, as marismas possuem comportamento de espécie pioneira ao formar extensos bancos que facilitam o aprisionamento de propágulos possibilitando o estabelecimento e desenvolvimento de plântulas de mangue que eventualmente irão sombrear estas herbáceas e substituí-las (CUNHA-LIGNON et al., 2009). Esse comportamento foi observado por Patterson et al. (1997), que analisaram em experimento que a espécie de mangue *A. germinans* tem maior taxa de sobrevivência nas áreas altas das formações de *S. alterniflora*, ou seja, com menor influência de marés e de inundações. Lana (2003) relatou que frequentemente as marismas de *S. alterniflora* da Baía de Paranaguá (Paraná) tendem a ser substituídas por árvores do mangue, sobretudo por *L. racemosa* ou *R. mangle*, ao longo das séries sucessionais em baixios com rápidos processos de acreção sedimentar, o autor não cita relação alguma com as forçantes de mudanças climáticas.

Os indutores da expansão espacial dos manguezais não são claros. Além do aumento da temperatura do ar, podem incluir o aumento no nível relativo do mar (KELLEWAY et al., 2017; PBMC, 2016; RAABE et al., 2012; ROGERS et al., 2006, SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016; SOARES et al., 2012); aumento de nutrientes do solo (MCKEE et al., 2012; SCHAEFFER-NOVELLI et al., 2016); sedimentação e alterações geomorfológicas em bacias hidrográficas (SWALES et al., 2015); mudanças na influência das marés e penetração de água doce (HOWARD et al., 2017; PBMC, 2016) e alterações no padrão de precipitação (ELLISON, 2000; KRAUSS e ALLEN, 2003; PBMC, 2016). Para Schaeffer-Novelli et al. (2016) a exposição e a sensibilidade de manguezais e marisma os tornam extremamente vulneráveis e potenciais indicadores ambientais de variações do clima. Entretanto, a interpretação de

expansão além de seus limites latitudinais deve ser cuidadosa e considerar a assinatura energética, bem como as interferências antrópicas em cada local de estudo.

De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), os impactos físicos, biológicos e humanos associados às mudanças do clima deverão variar no território brasileiro de acordo com características regionais, níveis de exposição e graus de degradação ambiental (PBMC, 2016). Ainda de acordo com o PBMC (2016), no Brasil, os estados do Pará e Rio de Janeiro são os que possuem os estudos mais relevantes relacionados às alterações no ecossistema manguezais em resposta à elevação do nível médio do mar (NMRM).

As florestas de mangue da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (Rio de Janeiro) encontram-se em processo de expansão e colonização da planície hipersalina (apicum) adjacente à floresta de mangue em resposta à elevação do NMRM. Este processo é monitorado pelo Núcleo de Estudos em Manguezais (NEMA/UERJ) desde 1996 e tem como espécie pioneira *L. racemosa* (ESTEVAM, 2013; OLIVEIRA, 2001; SOARES et al., 2005). Já no estado do Pará, por meio de análise de série de 25 anos (1972 a 1997) de imagens de radar e de satélites, Cohen e Lara (2003) e Lara et al. (2002) observaram processos de expansão de manguezais em direção ao continente sob áreas topograficamente mais elevadas antes ocupadas por vegetações herbáceas terrestres. Estes autores atribuíram este processo ao aumento da frequência de inundação por marés, possivelmente uma resposta de longo prazo à elevação o nível médio relativo do mar.

Entretanto, estudos relacionados às consequências que estes ecossistemas podem sofrer sob influência do aquecimento global em sua área de limite de distribuição no Brasil são escassos. Salvo Soares et al. (2012) que afirmam que florestas de mangue em Laguna (SC) tem distribuição controlada por um clima rigoroso, como baixas temperaturas de ar e frequência de geadas. Além das características oceanográficas como a presença de correntes de deriva litorânea com sentido norte e geomorfológicas, como lagunas costeiras ao sul com conexão restrita com o mar, o que dificulta a entrada de propágulos provenientes de outras áreas providas de manguezais mais ao norte. Sendo assim, apesar de não ser detectada alteração nesse limite latitudinal nas últimas décadas, os mesmos autores enfatizam que se as temperaturas médias do ar continuarem a aumentar, como previsto para o Sul do Brasil, é provável que as árvores de mangue aumentem em estatura e extensão e se expandam para o sul. Além disso, essa expansão pode ocorrer como consequência de outros fatores como: aumento da temperatura da superfície do oceano, redução na incidência de geadas e aumento da influência da Corrente do Brasil.

Embora os manguezais e as marismas sejam ecossistemas altamente estudados, as implicações ecológicas da expansão dos manguezais sobre bancos de marismas não foram

totalmente investigadas. Devido a isso, existe uma grande incerteza quanto a direção e magnitude dessas mudanças. O que se pode afirmar com base na literatura atual, é que a expansão de manguezais sobre marismas pode alterar o armazenamento de nutrientes e de carbono, além de elevar a superfície sedimentar em resposta ao aumento do nível do mar (KELLEWAY et al., 2017).

Entretanto, Ellison et al. (2006) afirmam que as alterações no clima, além de provocarem a substituição de um ecossistema pelo outro, podem alterar a dinâmica das comunidades biológicas que dependem dessas espécies vegetais. Desta maneira, com uma provável substituição de habitats, pode-se aumentar ou reduzir a diversidade de fauna que utiliza a estrutura destas vegetações, seja para alimentação, abrigo e/ou reprodução, como exemplo, aves migratórias e morcegos forrageiros (KELLEWAY et al., 2017). É importante ressaltar também os impactos significativos em atividades recreativas, educacionais e culturais associadas a estes ecossistemas.

2.5 Mudanças climáticas e as previsões para o Brasil

O efeito estufa é um fenômeno natural resultante do acúmulo de gases na atmosfera terrestre, responsável pelo aquecimento da superfície da Terra, que garante que a dispersão da energia solar pelo planeta seja mais lenta que a absorção, proporcionando a estabilização da temperatura e, conseqüentemente, garantindo a ocorrência de vida em nosso planeta (ASHMORE, 2005; PBMC, 2016; SAMPAIO et al., 2008).

Esse fenômeno ocorre porque os raios solares, ao serem emitidos para a Terra, têm dois destinos: uma parte é refletida de volta ao espaço ao atingir o topo da atmosfera terrestre; e a outra parte é absorvida pelos oceanos e pela superfície da Terra, proporcionando o seu aquecimento. Desta segunda parte, uma parcela também seria irradiada de volta ao espaço, mas é bloqueada pela presença natural de gases de efeito estufa na atmosfera, estes gases retêm parte da radiação solar refletida, na forma de calor. Entre os gases que compõem a atmosfera do planeta, os principais são Nitrogênio (N) e o Oxigênio (O₂), ambos constituem cerca de 99% da atmosfera, em quantidade menor estão os gases contribuintes do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), o metano (CH₄), o óxido de nitrogênio (N₂O) e outros compostos voláteis (SAMPALIO et al., 2008).

Apesar de ser um fenômeno natural, a influência antropogênica no equilíbrio natural do planeta tornou-se um amplificador do efeito estufa. No final do século XIX e início de século XX houve um aumento expressivo na produção industrial e, conseqüentemente, grandes quantidades de poluentes, incluindo os gases de efeito estufa, foram lançadas na atmosfera (SAMPAIO et al., 2008). Além das atividades industriais, outras fontes de emissão de gases de efeito estufa de origem antropogênica são as queimadas, desmatamento e queima de combustíveis fósseis. As mudanças climáticas ocorridas no planeta em consequência de causas naturais e ações antropogênicas são hoje de grande interesse da comunidade científica, e estudá-las se tornou um dos desafios mais complexos deste século, e nenhum país está imune aos possíveis impactos que poderão surgir (PBMC, 2016).

No Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, IPCC (sigla em inglês), as principais avaliações incorporam resultados de anos de pesquisa em mudança de clima e projetam um aumento das temperaturas médias globais entre 0,3 e 1,7 ° C como resultado da elevação das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera até o ano de 2100, podendo atingir de 2,6 a 4,8 ° C em um cenário mais pessimista (IPCC, 2014). À medida que o planeta aquece, os padrões de chuva e temperatura se alteram e eventos climáticos extremos como secas, chuvas intensas, ondas de frio e de calor se tornam mais frequentes em todas as regiões do planeta (IPCC, 2014; PBMC, 2016).

No âmbito das consequências das mudanças climáticas globais, estudos apontam que a zona costeira e seus ecossistemas associados estão sujeitos ao aumento na frequência e intensidade de ressacas e tempestades, ocorrência de furacões em áreas não usuais, aumento da temperatura, aumento da frequência e intensidade de fenômenos climáticos extremos (exemplo: El Niño e La Niña), verões mais intensos, estiagens prolongadas, alteração no padrão da circulação termohalina dos oceanos, alterações no padrão de precipitação, desequilíbrio nos ciclos hidrológicos, degelo de calotas polares e do gelo continental, e alterações no nível médio relativo do mar (NMRM) em todos os oceanos (PBMC, 2016). Nerem et al. (2006) afirmam que 50% do aumento no NMRM no século XXI, foi ocasionado pela expansão térmica das águas oceânicas, e, de acordo com IPCC (2014), a elevação do nível médio global do mar foi de 0,19 m (0,17-0,21 m) entre os anos de 1901 e 2010. O PBMC (2016) destaca ainda que apesar de poucos estudos realizados no Brasil sobre a elevação do NMRM, as taxas de aumento do NMRM na costa sul-sudeste já vêm sendo reportadas pela comunidade científica brasileira desde o final dos anos 80 e início dos anos 90. Com base nas séries maregráficas, estudos apontam aumentam no NMRM (cm por década: cm/déc) em cidades litorâneas brasileiras

como: Recife (PE): 5,43 cm/déc; Belém (PA): 3,50 cm/déc; Cananéia (SP): 4,05 cm/déc; Santos (SP): 1,13 cm/déc. (HARARI e CAMARGO, 1994; PBMC, 2016).

Outros impactos previstas para as regiões costeiras foram apontados pelo PBMC (2016):

- a) erosão e progradação costeira;
- b) danos a obras de proteção costeira;
- c) prejuízos estruturais ou operacionais a portos e terminais;
- d) danos a obras de urbanização de cidades litorâneas;
- e) danos estruturais ou prejuízos operacionais a obras de saneamento;
- f) exposição de dutos enterrados ou danos estruturais a dutos expostos;
- g) intrusão salina em estuários;
- h) intrusão salina em aquíferos;
- i) expansão dos manguezais;
- j) danos a recifes de coral.

No Brasil, a agricultura é responsável por 80% das emissões de gases do efeito estufa (ex: CO₂, CH₄ e N₂O) de forma direta ou indireta, como exemplo: desmatamento para abrir novas áreas para a agricultura, e apenas 17% são provenientes da queima de petróleo, carvão e gás natural (NOBRE, 2008). Pesquisas relacionadas a mudanças climáticas no Brasil indicam uma tendência de elevação de temperaturas atmosféricas ao longo da costa brasileira (BERNARDINO et al., 2015). Marengo e Camargo (2008) apontam que essas tendências de aquecimento do ar são relativamente mais fortes no inverno, com aumento na frequência de dias quentes, além das alterações nos padrões de precipitação.

Para o sul do Brasil, as previsões de temperaturas do ar seguem o padrão de aumento nos valores médios (MARENGO, 2006). Krug, (2008), Marengo (2006) e PBMC (2016) descrevem que o Sul é uma região que também sofrerá as tendências de aumento e/ou alterações nos padrões de precipitação e que tal consequência pode ser agravada com os fenômenos como El Niño e La Niña, que implicam secas durante La Niña e excesso de chuva e enchentes durante El Niño. Tais consequências podem gerar efeitos que atuam em escala global, regional e local. Sendo assim, é de extrema importância estudos que avaliem as possíveis respostas relacionadas às mudanças climáticas, sobre os ecossistemas de regiões costeiras (KRUG, 2008; SOARES et al., 2005; SOARES et al., 2012).

2.6 Estudo do clima através de cálculos de anomalias de temperatura do ar

O termo anomalia de temperatura significa um desvio a partir de um valor de referência ou de uma média de longo prazo. Trata-se de uma ferramenta de diagnóstico climático em escala global, regional e/ou local e fornece uma visão geral das temperaturas médias em comparação com um valor de referência (NOAA, 2018). Nesse caso, são utilizados valores de anomalias de temperatura médias ao invés de medições absolutas pois estas são difíceis de compilar. Por exemplo, as regiões desérticas possuem poucas estações de medição de temperatura, ou, regiões montanhosas onde que a maioria das observações vem dos vales habitados, pode haver diferenças de temperatura tanto no topo da montanha como no vale. Sendo assim, o uso de anomalias neste caso mostrará que as temperaturas para ambos os locais estavam abaixo da média.

Por estas razões, as anomalias descrevem com mais precisão a variabilidade climática em áreas maiores do que as temperaturas absolutas, pois fornecem referências que permitem comparações mais significativas entre locais mais precisos das tendências de temperatura (NOAA, 2018). Uma anomalia pode ser positiva ou negativa. A anomalia positiva indica que a temperatura observada foi maior do que o valor de referência, enquanto uma anomalia negativa indica que o valor da temperatura do ar observada era inferior ao valor de referência.

Os conjuntos de dados utilizados para o cálculo de anomalia média da temperatura da superfície terrestre estão disponíveis na Rede Global de Clima Histórico-Mensal (*Global Historical Climatology Network-Monthly*, GHCN-M), fonte oficial de dados de temperatura da superfície terrestre da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) para o monitoramento climático (LAWRIMORE et al., 2011). Estes dados são referentes às escalas menores (mais locais) ao longo do mesmo período de tempo e estabelece uma linha de base a partir da qual as anomalias são calculadas. As anomalias representam um *grid* de 5° x 5° em superfícies terrestres e oceânicas (NOAA, 2018). Esses *grids*, por sua vez são calculados como média e fornecem uma anomalia de temperatura global média, e estão disponíveis para todos os meses a partir de janeiro de 1880 até o mês mais recente disponível.

Esse processo normaliza os dados para que eles possam ser comparados e combinados para representar com mais precisão os padrões de temperatura em relação ao que é normal para diferentes locais dentro de uma região (LAWRIMORE et al., 2011). Portanto, como as tendências de elevação ou diminuição da temperatura ocorrem em escala regional (ou global), o impacto das interpolações entre áreas com diferentes latitudes e altitudes, dentre outros

aspectos, em um *grid* de 5° x 5° sobre as temperaturas absolutas é relevante, mas sobre as anomalias de temperatura não (NOAA, 2018). Por exemplo, um mês de verão em uma determinada área pode apresentar temperaturas menores que a média, tanto no topo de uma montanha quanto em um vale próximo, mas as temperaturas absolutas serão bem diferentes entre as duas localidades. O uso de anomalias neste caso demonstrará que as temperaturas em ambas as localidades estavam mais baixas que a média.

Desde o lançamento de sua primeira versão de dados, em 1992, a GHCN-M tem realizado esforços contínuos para atualizar o conjunto de dados mensalmente e fornecer informações contínuas sobre como as temperaturas estão sendo afetadas por influências naturais e feitas pelo homem (LAWRIMORE et al., 2011). Atualmente, a versão utilizada é a versão 3.3.0, conforme detalhado por Menne e Williams (2009) e Lawrimore et al., (2011). Para atualizar o registro climático GHCN-M de forma contínua, são utilizadas três fontes principais:

- a) Boletins da WMO CLIMAT divulgados a cada mês através do Sistema Global de Telecomunicações (GTS, sigla em inglês);
- b) NCDC's Dados climáticos mensais para o mundo (MCDW, sigla em inglês), que é composto por dados CLIMAT de várias fontes;
- c) Programa Cooperativo de Observação dos Estados Unidos (COOP, sigla em inglês).

2.7 Dendrocronologia e suas aplicações

A dendrocronologia é o estudo dos anéis de crescimento presentes nos caules e raízes de plantas lenhosas. É uma ciência que torna possível determinar a idade e as taxas de crescimento periódicas (e.g., anuais) de uma árvore, as quais podem ser correlacionadas com as oscilações e mudanças ambientais gravadas nos anéis de crescimento do lenho (SCHWEINGRUBER, 2007; WORBES 1989). A análise dos anéis de crescimento também possibilita a identificação da variação dos recursos hídricos e edáficos, avaliação dos efeitos dos ventos, registro de ocorrência de ataques de insetos e microrganismos e detecção de metais pesados no ambiente (GONÇALVES, 2007).

Isto é possível porque as mudanças ambientais induzem reações fisiológicas e metabólicas nas plantas lenhosas e resultam em anéis de crescimento com diferentes larguras e características anatômicas (SCHWEINGRUBER, 2007), permitindo assim, um diagnóstico

retrospectivo da vida da planta (CECCANTINI et al., 2008; GONÇALVES, 2007). Desta forma, a dendrocronologia pode contribuir para a identificação de processos de sucessão e dinâmica de florestas (ESTRADA et al., 2008; HUGHES, 2002; SCHWEINGRUBER, 2007; TOMAZELLO FILHO et al., 2001; WORBES 1989).

O registo ambiental presente nos anéis de crescimento, mostrou-se eficiente ao oferecer respostas a eventos diversos, que refletem na atividade cambial e na formação dos anéis (GONÇALVES, 2007; TOMAZELLO FILHO et al., 2001). Ao isolar esses eventos e estudá-los individualmente, introduziu-se uma gama diferenciada de aplicações para os estudos dendrocronológicos, como a dendroquímica, dendroecologia, dendrogeomorfologia, dendroarqueologia e dendropirocronologia (GONÇALVES, 2007; HUGHES, 2002).

Contudo, a maioria das investigações está voltada à análise dos aspectos climáticos, a dendroclimatologia, que analisa os registros climáticos passados e presentes e os relaciona com os parâmetros de crescimento (espessura, densidade, compostos, etc.) de espécies lenhosas (HUGHES, 2002; SCHONGART et al., 2004; SOUZA et al., 2016). Os registros climáticos podem ser representados pela alteração de precipitação e da temperatura média (ESTRADA et al., 2008; SOUZA et al., 2016; WORBES, 2002; YÁÑEZ-ESPINOSA et al., 2014), ou de índices de circulação das massas de ar (HUGHES, 2002).

O crescimento vegetal ocorre de duas maneiras: o primário (apical) e o secundário (radial) (EVERT, 2013; NASCIMENTO, 2011; RAVEN et al., 2007). O crescimento secundário é determinado pela atividade do câmbio vascular (crescimento periódico) (RAVEN et al., 2007). O câmbio vascular é o único tecido meristemático que forma dois sistemas: o axial e radial, e o crescimento se dá pela diferenciação das células fusiformes iniciais e radiais do câmbio, originando o floema secundário voltado para o exterior e xilema secundário voltado para o interior do tronco (RAVEN et al., 2007).

Os anéis de crescimento anuais são observados no xilema secundário, e a formação destes anéis são controladas geneticamente e por fatores bióticos (fenologia, associações com micorrizas, micro-organismos patogênicos) e abióticos (luz, temperatura, água, nutrientes, vento, poluição do solo, do ar, fogo) (CALLADO et al., 2001; TOMAZELLO FILHO et al., 2001). Sob condições específicas, cada um desses fatores pode predominar sobre os outros e influenciar diretamente o crescimento. Os períodos de divisão mais acelerada do cambium geralmente ocorrem em meses mais quentes, chuvosos e que apresentam maior duração dos dias, enquanto os períodos de dormência ou redução da taxa de divisão do cambium normalmente são observados em meses secos, frios e de dias mais curtos (CALLADO et al., 2013; CALLADO et al., 2014; COSTA et al., 2013; YÁÑEZ-ESPINOSA et al., 2014).

Um anel completo é representado por distintas camadas celulares que são originadas durante a fase de crescimento ativo e as que se formam antes da parada da atividade do câmbio, ou durante uma redução drástica do mesmo (CALLADO et al., 2001). Essas camadas são denominadas lenho inicial e lenho tardio, respectivamente, e compõem um único anel de crescimento típico.

O lenho inicial, também chamado de lenho primaveril é produzido no início da estação de crescimento (período de atividade), em condições mais favoráveis ao crescimento, (RAVEN et al., 2007). Já o lenho tardio é produzido no fim da estação de crescimento (período de dormência), em condições ambientais menos favoráveis ao crescimento (COSTA et al., 2012; RAVEN et al., 2007).

Estudos anteriores alegavam que árvores de regiões tropicais não formavam anéis de crescimento anuais, suposição que estava parcialmente ligada ao pressuposto de que a sazonalidade climática regional ausente e/ou menos pronunciada resulta em uma atividade cambial constante ao longo do ano, e, conseqüentemente o estado adormecido seria inexistente (CALLADO et al., 2001; TOMAZELLO-FILHO et al., 2001; WORBES, 1989). Desta forma, se tornaria impraticável a análise dos anéis de crescimento.

No entanto, nas últimas décadas muitas espécies de árvores tropicais foram descritas por formar anéis de crescimento anuais. A formação desses anéis tem sido associada a fatores ambientais, como a ocorrência de uma estação seca bem definida ou períodos prolongados de inundação (CALLADO et al., 2001; CALLADO et al., 2014; DÜNISCH et al., 2002, MENEZES et al., 2003; SCHONGART et al., 2002; VERHEYDEN et al., 2004; WORBES, 1999, 2002). Ao contrário das espécies em regiões temperadas, onde o crescimento dos anéis é geralmente controlado pela sazonalidade acentuada de temperatura.

Nas espécies arbóreas tropicais, onde a temperatura não limita substancialmente a divisão celular do câmbio, o crescimento da planta depende, basicamente, da disponibilidade de água, pois a expansão dos tecidos requer o aumento do volume celular, que depende da manutenção de um balanço hídrico positivo (SCHONGART et al., 2002). Para Worbes (1995), um período de seca anual, com uma extensão de 2 a 3 meses, com precipitação mensal inferior a 60 mm, é capaz de induzir a formação de anéis no lenho de árvores em zonas tropicais.

2.8 Dendrocronologia em manguezais

Como mencionado anteriormente, estudos pioneiros, além de negarem a inexistência de anéis de crescimento em árvores tropicais, também negaram existência de anéis em espécies de manguezais (CHAPMAN, 1976; JANSSONIUS, 1950; VAN VLIET 1979). Novamente, nas últimas décadas estudos confirmaram a existência de anéis de crescimento em diversas espécies de mangue (YÁÑEZ-ESPINOSA et al., 2014), como também o crescimento anual dos anéis dessas espécies (VERHEYDEN et al., 2004), inclusive no Brasil (ESTRADA et al., 2008; MENEZES et al., 2003; SOUZA et al., 2016).

Das espécies de mangue que ocorrem no Brasil, a estrutura cambial de *A. schaueriana* é anômala, o que impossibilita a formação de anéis de crescimento anual (ESTRADA et al., 2008; SOUZA et al., 2016; SCHMITZ et al., 2006). Para as outras espécies, os estudos dendrocronológicos abrangem as regiões Norte, Sudeste e Sul. Na Península de Bragança, estado do Pará, onde Menezes et al. (2003) analisaram as diferenças na estrutura da floresta de mangue com base na dinâmica de crescimento das árvores de *R. mangle* e constataram que os anéis de crescimento anuais possuem taxa de desenvolvimento significativamente maior em árvores sujeitas a menor salinidade e frequentemente inundada, e propuseram que os fatores ambientais locais como a precipitação influenciam no crescimento individual.

No sudeste brasileiro, Souza et al. (2016) confirmaram a ocorrência de anéis de crescimento anuais em *R. mangle* nos manguezais de Guaratiba no estado do Rio de Janeiro (Brasil), e atribuíram a formação dos anéis às variações de precipitação e do balanço hídrico da região. No mesmo local, Estrada et al. (2008) analisaram a periodicidade de anéis de crescimento de *L. Racemosa*. Esses autores concluíram que dentre as características anatômicas que geram a distinção das camadas de crescimento, estão a presença de parênquima axial paratraqueal e que a formação dos anéis anuais se deve provavelmente a uma estação seca bem definida no inverno. A existência de anéis de crescimento anuais em *R. mangle* e *L. racemosa* implicam um grande potencial para a dendrocronologia.

Já na costa litorânea sul do Brasil, Batista (2011) ao analisar a anatomia quantitativa e qualitativa do lenho de *L. racemosa* e *R. mangle* do estado do Paraná, revelou que as duas espécies respondem de formas distintas às diferentes condições ambientais devido a fatores ecológicos, genéticos e taxonômicos de cada espécie.

Porém, não existem estudos dendrocronológicos realizados para espécies de mangue no estado de Santa Catarina, onde se encontra o limite de ocorrência latitudinal do ecossistema

manguezal na costa do Atlântico Sul (SOARES et al., 2012). Gonçalves (2007) descreve que de acordo com o princípio da amplitude ecológica, as espécies arbóreas possuem sensibilidade elevada à temperatura e precipitação em seus limites de distribuição de latitude e altitude. Sendo assim, estes indivíduos são mais sensíveis, às alterações climáticas, como temperatura e umidade, fato esse que aumenta o potencial da utilização da dendrocronologia para estudos da resposta dos manguezais de Laguna à possíveis alterações climáticas.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O Sistema Estuarino de Laguna (entre 28°12' e 28°37' S e 48°42' e 48°56' W) faz parte do Complexo Lagunar Sul Catarinense. Este complexo é segmentado em dois setores que apresentam características fisiográficas e de circulação da água distintas: o Sistema Santa Marta-Camacho (sul) e o Sistema Estuarino de Laguna (norte), que compreende as lagoas Imaruí e Mirim ao norte e Santo Antônio ao Sul.

As lagoas do Sistema Estuarino de Laguna recebem aporte continental dos rios Tubarão e D'una, sendo que a ligação com o Oceano é feita através de um único canal, localizado na porção sul da lagoa Santo Antônio (Figura 1), o canal da Barra de Laguna (FONSECA e NETTO, 2006; SANTA CATARINA, 2018). O rio Tubarão nasce junto à encosta da Serra Geral e sua área de drenagem é de 4.728km², e percorre 120 km desde suas nascentes até desembocar na Lagoa de Santo Antônio e apresenta vazões médias de 50 m³s⁻¹ próximo à sua foz, de acordo com dados do DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica). Já o rio D'una, apresenta uma área de drenagem de 544 km² e tem suas nascentes na Serra do Tabuleiro, desembocando na Lagoa do Mirim (BORTOLUZZI et al., 2013).

A porção que integra o Sistema Estuarino de Laguna, encontra-se na Zona Subtropical Sul, devido sua localização abaixo do Trópico de Capricórnio. Ademais, o clima é regido por massas de ar marinhas de origem tropical e polar. De acordo com a classificação climática de Köppen, nesta zona tem-se um clima subtropical úmido (Cfa), marcada por estações secas e verão quente (EMBRAPA, 2018).

Do ponto de vista geomorfológico, as lagoas são do tipo estrangulada (KJERFVE, 1994). A profundidade média das lagoas é de cerca de 2 m (FONSECA e NETTO, 2006). Já no Canal da Barra, que possui média de 200 m de largura, a profundidade varia entre 6 e 7,5 m (EICHLER et al., 2006). A região onde se localizam as lagoas é caracterizada por um regime de micromaré (SOARES et al., 2012).

A salinidade média da água é de 5 nas porções mais internas (lagoa do Mirim) e de 20 a 30,4 nas mais externas (lagoa de Santo Antônio) (FONSECA e NETTO, 2006; SOARES et al., 2012). De acordo com Eichler et al. (2006) o sistema estuarino de Laguna possui um padrão de circulação e variação da salinidade classificado como parcialmente misturado, sendo a

influência de águas salinas mais marcantes nas Lagoas de Santo Antônio e Imaruí. Já a lagoa do Mirim, (mais interna) menos salina, possui influência direta do rio D'Una.

A temperatura média da água pode variar entre 13° C no inverno e 24,5° C no verão (FONSECA e NETTO, 2006). Já a temperatura média anual do ar é 19,7°C e a amplitude térmica anual em torno de 8,0° C. A precipitação média anual atinge 1.412 mm, segundo dados de 55 anos de monitoramento na estação meteorológica de Laguna, operados pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM) (SOARES et al., 2012). De acordo com Sistema de informações de recursos hídricos do estado de Santa Catarina (SIRLESC), o outono e inverno são as estações mais influenciadas pelas frentes frias, resultando em maiores valores pluviométricos.

Os ventos NE e S-SE são os mais frequentes no verão e no inverno, respectivamente (INMET, 2018). Visando a renovação das águas no sistema estuarino, os ventos de N-NE são os mais propícios a exportação das águas para o oceano (EICHLER et al., 2006). A velocidade média dos ventos na região de Laguna é em torno de 12 km/h (SIRLESC, 2018). Entretanto, entre setembro e dezembro, são comuns rajadas de vento de até 50 km/h. Além disso, eventos extremos, como ciclones extratropicais sobre o oceano, provocam instabilidade na velocidade do vento, ocasionando rajadas mais fortes no litoral de Santa Catarina (SIRLESC, 2018). De acordo com Carpanezzi et al. (1988) ocorrem em média de 0,3 geadas por ano em Laguna, e aumenta para 2 por ano à medida que se aproxima da cidade de Araranguá, cerca de 100km ao sul.

A área estudada é a lagoa Santo Antônio (Figura 1), localizada ao sul do sistema estuarino de Laguna, o verdadeiro limite de distribuição sul dos manguezais no Atlântico Sul e o início de grandes formações das marismas (SCHAEFFER NOVELLI et al., 1990; SOARES et al., 2012). Segundo Soares et al. (2012), as florestas de mangue desta Lagoa apresentaram um baixo grau de desenvolvimento, definido por baixo diâmetro médio e altura, e alta densidade de troncos e elevado grau de ramificação das árvores, que ocorrem de maneira fragmentada entre as marismas e na desembocadura de rios. Os manguezais são representados em sua maioria pela espécie *L. racemosa* e algumas árvores isoladas de *A. schaueriana* (SOARES et al., 2012).

Os mesmos autores afirmaram que o padrão estrutural observado e a alternância local destas florestas com formações de marismas são típicos das florestas de mangue em seus limites latitudinais. Assim como foi ressaltado por Bridgewater e Cresswell, (1999), Schaeffer-Novelli et al. (2016) e Stevens et al., (2006) para outros lugares do mundo onde manguezais também estão em seus limites de distribuição latitudinal.

Em relação às marismas, existe uma evidente distinção na estrutura vegetal e distribuição dos taboais de *T. domingensis* e marismas de *S. alterniflora* ao longo do Sistema Estuarino de Laguna. A parte interna do sistema (lagoa Mirim) é dominada por bancos monoespecíficos de *T. domingensis*, embora exista presença restrita de um único banco na parte norte da lagoa Santo Antônio. Já a espécie *S. alterniflora* não ocorre na lagoa Mirim, mas predominam tanto na lagoa Imaruí como na de Santo Antônio (VALGAS, 2009).

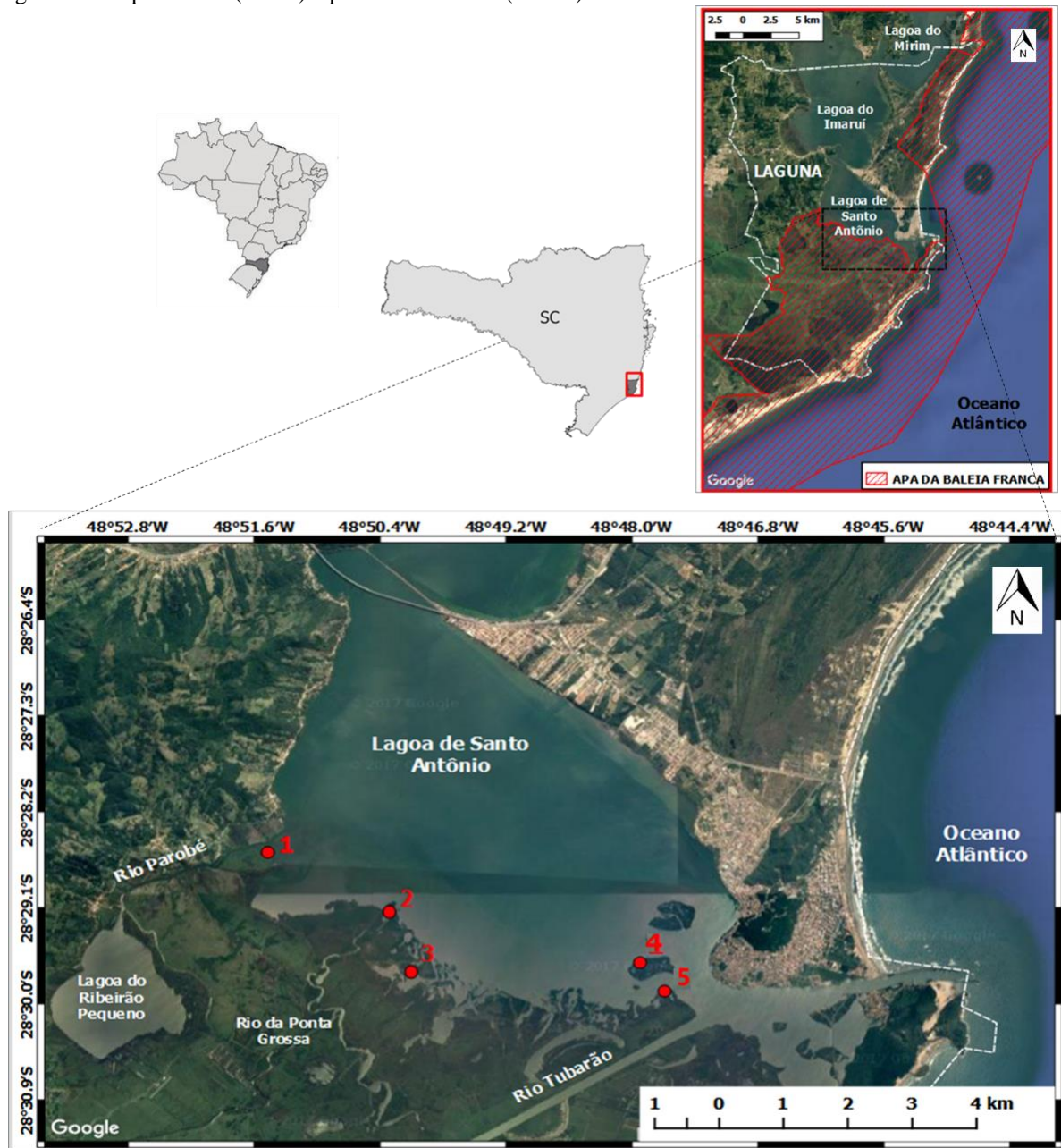
3.2 Salinidade

Foi mensurado o parâmetro da salinidade da água superficial e da água intersticial de marismas e manguezais da lagoa de Santo Antônio. Foram obtidas amostras de água com o auxílio de uma pipeta e utilizou-se um refratômetro *American Optical* modelo A366ATC, graduado de 0 a 160, com precisão de uma unidade.

Para a determinação da salinidade da água superficial, a amostra de água foi retirada da lâmina d'água em cada um dos ecossistemas. Já para a salinidade da água intersticial, foram escavados furos no substrato com auxílio de uma espátula até a profundidade do lençol freático. As medidas de salinidade para água superficial de marismas e manguezais foram realizadas no ponto de estudo 1. Já as medidas de salinidade de água intersticial foram realizadas no ponto 2. Foram selecionados locais aleatórios para as medidas de salinidade em cada ecossistema, cuidadosamente para evitar áreas já pisoteadas. O ponto de estudo 1 é a porção mais interna da Lagoa de Santo Antônio. E o ponto 2, adjacente ao ponto 1, é o mais próximo ao canal de conexão ao oceano (Figura 1).

Desta forma, foram realizadas ao total 12 medidas de salinidade, sendo 3 medidas de salinidade superficial para marisma e 3 para manguezais e 3 medidas de salinidade intersticial para marisma e 3 manguezais. A análise de deste parâmetro teve o intuito de obter uma avaliação preliminar da salinidade adicional à realizada por Soares et al. (2012), cuja caracterização detalhada dependeria de uma amostragem representativa de distintas condições climáticas e meteoceanográficas.

Figura 1 – Mapa da área (acima) e pontos de estudos (abaixo)



Legenda: Na área de estudo (acima), no lado direito superior da imagem, a parte interna do contorno preto representa a área dos cinco pontos de estudos e a área destacada em vermelho, a abrangência da área de proteção ambiental da baleia franca (APA da Baleia franca/ICMBio). A área amostral (abaixo) indica os cinco pontos de estudos (em vermelho) em florestas de mangue associadas às marismas na lagoa Santo Antônio.

Fonte: A autora, 2018.

3.3 Estratégia amostral e caracterização estrutural da vegetação

3.3.1 Estratégia amostral

As áreas amostrais foram definidas previamente com o auxílio de imagens de satélite disponíveis no programa Google Earth, nas quais buscou-se identificar florestas de manguezal em interface com bancos de marisma. Posteriormente, buscou-se validar em campo os pontos já marcados para determinar ao longo da Lagoa Santo Antônio a ocorrência de manguezais em associação com marismas em suas margens. Desta forma, foram selecionados cinco pontos de estudos (Figura 1). O trabalho de campo foi realizado na segunda quinzena do mês de janeiro de 2017. Os pontos de estudos e suas respectivas coordenadas geográficas estão expostas na tabela 1.

Tabela 1 – Latitude e longitude dos pontos de estudos na lagoa Santo Antônio

| Coordenadas geográficas | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------|
| | Latitude | Longitude |
| Ponto de estudo 1 | - 28.476288° | - 48.857911° |
| Ponto de estudo 2 | - 28.485469° | - 48.837969° |
| Ponto de estudo 3 | - 28.494728° | - 48.83457° |
| Ponto de estudo 4 | - 28.493536° | - 48.798737° |
| Ponto de estudo 5 | - 28.497996° | - 48.794849° |

Fonte: A autora, 2018.

Em cada ponto de estudo foi estabelecido um transecto perpendicular ao banco de marisma em interface com manguezais. Ao longo de cada ponto de estudo foram marcadas e medidas quatro parcelas de tamanho padrão de 25m² (Figura 2) para caracterização estrutural de marismas e manguezais, além de obtenção de material biológico para análises dendrocronológicas.

A retirada do material biológico em campo foi registrada no portal SISBIO com número de registro 57171-1 (Anexo 1). As quatro parcelas foram distribuídas da seguinte forma:

- a) **Marisma:** Duas parcelas na marisma adjacente ao manguezal para caracterizar a estrutura vegetal desse ecossistema, com ou sem plântulas e jovens de espécies de mangue (Figura 2). As parcelas referentes às marismas

estão representadas de forma padronizadas por parcelas em cada ponto de estudo, distribuídas da seguinte maneira:

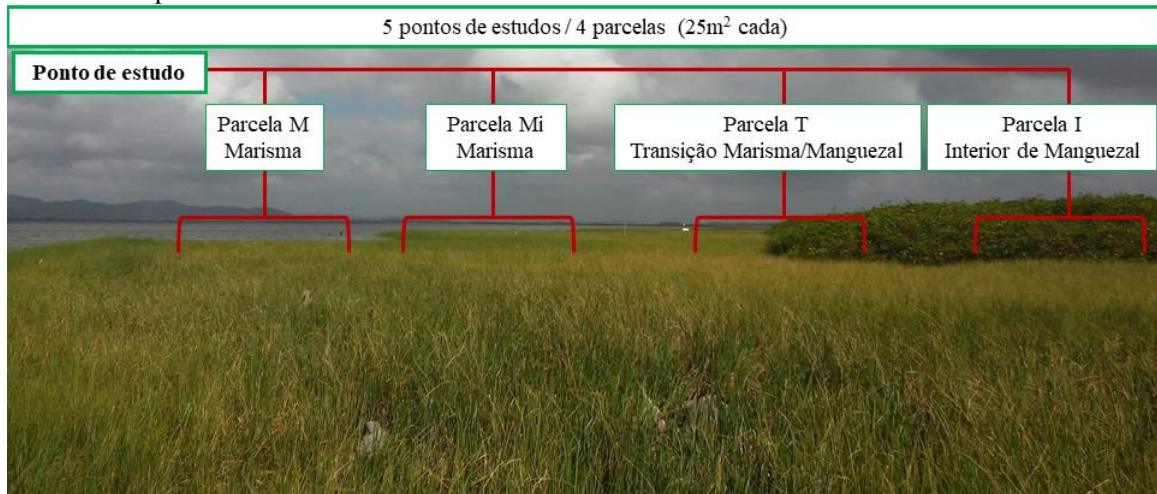
- Parcela M (Marisma): Porção da marisma próxima ao corpo d'água e mais distante do manguezal;
 - Parcela Mi (Marisma intermediária): Porção da marisma próxima ao ambiente de transição com o manguezal adjacente.
- b) **Transição Marisma/Manguezal:** Uma parcela na transição entre marisma e manguezal para caracterizar a estrutura vegetal de ambos os ecossistemas, de acordo com a metodologia proposta para cada ecossistema e obtenção das amostras dendrocronológicas (Figura 2). A transição é caracterizada pela mudança abrupta de domínio vegetal, onde as folhas e colmos de marismas possuem menor altura e densidade e competem por espaço com as raízes e troncos de árvores de mangue. Além disso, a copa das árvores de mangue proporciona sombreamento às espécies de *Spartina* sp. A parcela referente à transição é representada pela letra T (Transição) em cada ponto de estudo.
- c) **Interior de Manguezal:** Uma parcela interna no manguezal, para caracterizar a estrutura do manguezal e obtenção das amostras dendrocronológicas (Figura 2). A parcela referente ao interior é representada pela letra I (Interior) em cada ponto de estudo.

Ao total foram 5 parcelas de Marisma (M), 5 parcelas de Marisma intermediária (Mi), 5 parcelas de transição entre marisma e manguezais (T) e 5 parcelas de interior de manguezais (I).

É importante ressaltar que o tamanho de 25m² de cada parcela foi utilizado para delimitar de maneira padronizada o espaço de cada ecossistema e ser analisado. Porém, as metodologias empregadas são distintas para marismas e manguezais, descritas nas seções 3.3.2 e 3.3.3.

Além disso, nos casos em que foram observadas plântulas e jovens de espécies de mangue (evidência de colonização recente) nas parcelas utilizadas para caracterização de marismas (M e Mi), os mesmos foram tratados de acordo com a metodologia proposta para estrutura de manguezais.

Figura 2 – Esquema da estratégia amostral, representando a distribuição padronizada das parcelas em cada um dos pontos de estudo



Fonte: A autora, 2018.

3.3.2 Caracterização de marismas

Para facilitar o estudo das características estruturais e composição florística da marisma, foram utilizados *quadrats* tamanho padrão de 1m² (SORIANO-SIERRA et al., 2015) (Figura 3). Desta maneira, após a identificação em campo das espécies de marisma ocorrentes na lagoa Santo Antônio, foram estabelecidos 5 *quadrats* (sub-parcelas) de 1m² no interior das parcelas M, Mi e T de cada um dos 5 pontos de estudos, dispostos de forma sistemática no centro e nos vértices de cada parcela (Figura 3).

Para a caracterização estrutural de marismas foi determinada a área de cobertura relativa de cada espécie herbácea (SORIANO-SIERRA et al., 2015), aplicando a escala de Braun-Blanquet (1932) (Tabela 2). De acordo com este método, para o cálculo da cobertura, o observador estima, visualmente, a cobertura de cada espécie presente dentro de cada *quadrat* (Figura 4 D), e cada classe da escala equivale ao percentual de área de cobertura por espécie.

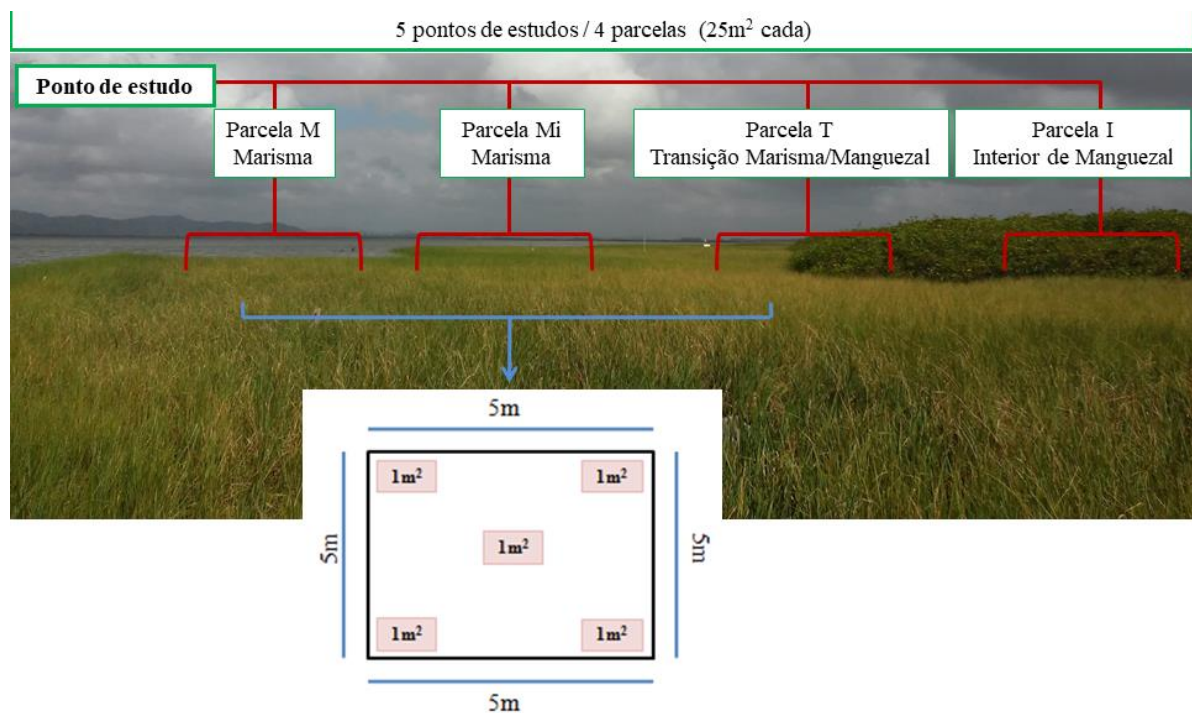
Adicionalmente, foram tomadas medidas de altura de folhas e colmos de marismas com auxílio de uma régua (Figura 4 C). O registro da altura é dado pela distância do sedimento à porção mais alta da planta. Para cada *quadrat* (sub-parcelas) foram adotados cinco registros de altura em pontos aleatórios.

Tabela 2 – Valor de área de cobertura segundo Braun-Blanquet (1932) e correspondência com o percentual de área de cobertura por cada espécie.

| Classe | % de cobertura |
|--------|----------------|
| 1 | <1 |
| 2 | 1 - 5 |
| 3 | 6 - 25 |
| 4 | 26 - 50 |
| 5 | 51 - 75 |
| 6 | 76 - 100 |

Fonte: A autora, 2018.

Figura 3 – Estratégia amostral de para caracterização da vegetação de marismas

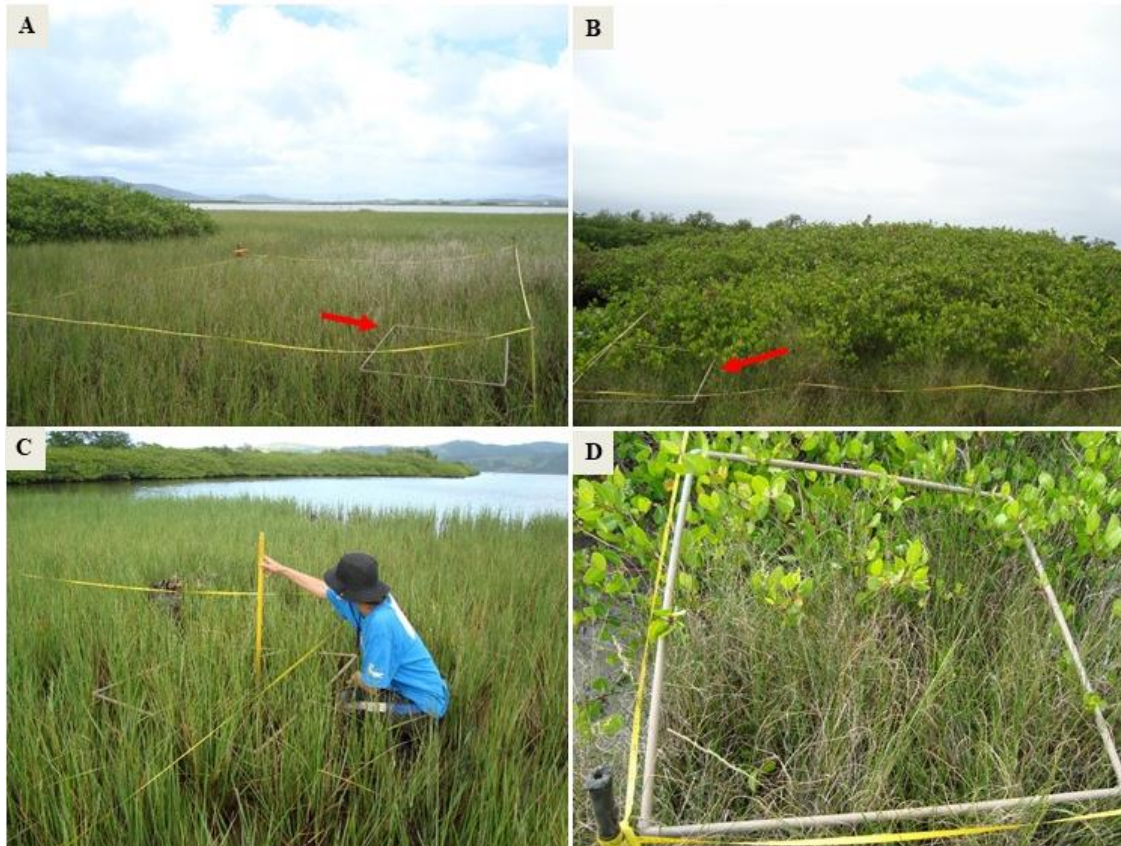


Legenda: É possível observar a distribuição dos 5 *quadrats* de 1m² (sub-parcelas) dentro de cada parcela de 25m². A seta em azul indica quais parcelas foram utilizadas para a caracterização estrutural de marismas em cada ponto de estudo.

Fonte: A autora, 2018.

Foi aplicado a análise estatística ANOVA não paramétrica do teste Kruskal Wallis para verificar a existência de diferenças significativas entre a altura das marismas nas parcelas analisadas (M, Mi e T).

Figura 4 – Aplicação dos métodos para caracterização estrutural de marismas.



Legenda: A) Parcela de marisma de 25m²; B) Parcela de transição marisma/manguezal; C) Medição de altura de marismas e D) Disposição de um dos *quadrats* no vértice de uma parcela de marisma para estimativa visual de cobertura de vegetação. As setas em vermelho indicam os 4 *quadrats* dispostos na parcela.

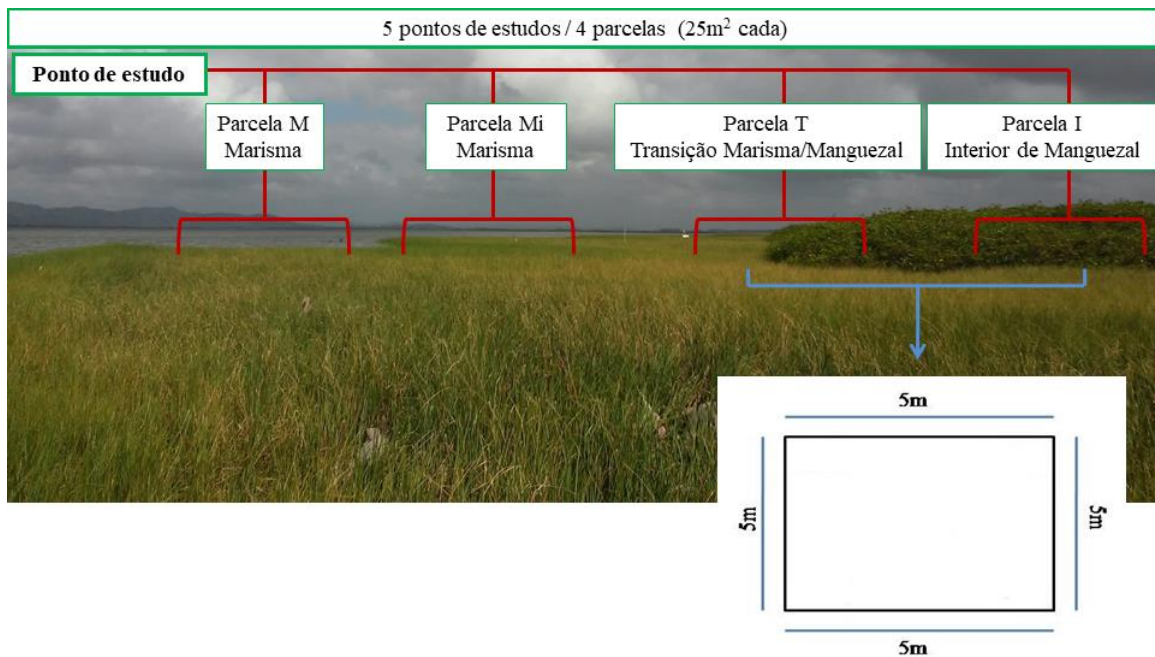
Fonte: A autora, 2018.

3.3.3 Caracterização estrutural de manguezais

Todas as parcelas de 25m² de transição e interior foram utilizadas em sua totalidade (Figura 5) para a caracterização da estrutura florestal, realizada com base no método proposto por Cintrón-Morelo e Schaeffer-Novelli (1984) e Schaeffer-Novelli e Cintrón-Molero (1986).

Em campo, todas as árvores pertencentes às parcelas de transição e interior (Figura 6 A, B) foram medidas quanto à altura (com uma vara telescópica para indivíduos maiores ou régua para os de menor porte). Foram contabilizados os números de troncos de todas as árvores e conferidos quanto à sua condição (vivo ou morto) (Figura 6 C) e medidos os diâmetros ao meio do tronco, em função da arquitetura de troncos extremamente ramificada - D_{meio} (utilizando-se fita graduada em unidades de π - 3,1416 cm) (Figura 6 D). Todos os indivíduos foram identificados em nível de espécie.

Figura 5 – Estratégia amostral para caracterização da vegetação de manguezais



Legenda: Na imagem acima observa-se que, ao contrário da caracterização da vegetação de marismas as parcelas de manguezais foram utilizadas em sua totalidade para analisar esse ecossistema. A seta em azul indica quais parcelas foram utilizadas para a caracterização estrutural de manguezais em cada ponto de estudo.

Fonte: A autora, 2018.

Por meio destas informações obtidas em campo foi possível verificar o desenvolvimento estrutural de cada ponto de estudo de floresta de mangue calculando os seguintes parâmetros por parcela: área basal de troncos vivos e mortos, dominância em área basal por espécie e classe de diâmetro ($< 2,5$ e $\geq 2,5$ cm), densidade de tronco vivos, diâmetro médio (D_{meio}), altura média e relação tronco/indivíduo.

A área basal representa a contribuição de troncos por área de terreno. Para o cálculo da mesma, analisamos a área da seção ponto de estudo de cada tronco. A área basal é calculada pela fórmula 1:

$$g = 0,00007854 (dap)^2 \quad (1)$$

Onde, g = área basal do tronco (em m^2) e D_{meio} = diâmetro médio (em cm), a mesma é representada em: $m^2 \text{ ha}^{-1}$.

O D_{meio} representa o diâmetro das árvores de área basal média, e foi calculado de acordo com a fórmula 2:

$$D_{\text{meio}} = [12,732.39 (\text{área basal de árvores vivas}) / \text{densidade de troncos vivos}]^{1/2} \quad (2)$$

Onde, D_{meio} é expresso em: cm. Já a densidade de troncos é expressa em: troncos ha^{-1} , como descrito por Soares et al. (2012).

Já o parâmetro relação troncos/indivíduos representa número médio de troncos por indivíduo em cada parcela. Para o cálculo é realizado o somatório do número total de troncos na parcela/número total de indivíduos (árvores) na mesma parcela. Devido ao N amostral baixo, os resultados preliminares da verificação das premissas do Teste-t paramétrico indicaram violações relevantes. Dessa forma, optou-se por empregar a análise estatística não paramétrica de Mann Whitney, através do software STATISTICA 7.0. Posteriormente foram confeccionados gráficos *box-plot* com os valores da mediana para agrupamento entre os tipos fisiográficos dos manguezais para cada variável testada (Altura média, D_{meio} , Área basal e Densidade).

Figura 6 – Aplicação dos métodos para caracterização estrutural de manguezais



Legenda: A) Parcela T; B) Parcela I. As setas em vermelho indicam as delimitações das parcelas. C) Indivíduo de *L. racemosa* morto e D) Medição de D_{meio} em árvores de mangue, a linha em vermelho indica o local de medição no tronco.

Fonte: A autora, 2018.

3.4 Análise dendrocronológica das Florestas de Mangue

A obtenção de amostras de tronco das árvores de mangue para análise dendrocronológica ocorreu nas parcelas T e I dos cinco pontos de estudos que correspondem as parcelas de transição e interior, respectivamente.

Foram coletadas somente árvores de *L. racemosa*, espécie que forma anéis de crescimento anuais (ESTRADA et al., 2008). A outra espécie de mangue que ocorre na região, *A. schaueriana*, não forma anéis de crescimento (ESTRADA et al., 2008), além de possuir distribuição bastante restrita na lagoa (SOARES et al., 2012).

Em função do tamanho reduzido do diâmetro de tronco nas florestas de manguezais de Laguna e pela arquitetura extremamente ramificada, com ramificações próximas da base do tronco, não foram utilizados trados mecânicos ou motorizados, como de praxe em dendrocronologia. No lugar dessas ferramentas, utilizou-se um serrote para a obtenção de amostras completas do disco basal, constando de casca, alburno e cerne (Figura 7 A, B).

Foram coletadas amostras de 4 a 6 árvores por parcela. O corte foi feito na base do tronco (Figura 7 C), evitando deformações que são observadas com frequência nesta porção (Figura 7 D), pois ocasionam anéis faltantes e/ou anéis de crescimento falsos ou descontínuos em lenhos de reação. A extração do material foi realizada somente no tronco de maior diâmetro de cada árvore selecionada, buscando-se estimar a idade real da árvore. De acordo com Tomazello Filho et al., (2001) a padronização na coleta das amostras dendrocronológicas é essencial para minimizar a influência de fatores internos e externos que possivelmente afetam o crescimento das árvores.

Figura 7 – Aplicação dos métodos dendrocronológicos para caracterização etária de *L. racemosa*



Legenda: A e B) Obtenção de discos completos da base do tronco de *L. racemosa* com auxílio de um serrrote; C) A seta em vermelho indica o local na base do tronco onde foram feitos os cortes para obtenção dos discos. D) As setas em vermelho indicam deformidades anatômicas encontradas nos troncos das árvores de *L. racemosa* em Laguna.

Fonte: A autora, 2018.

Foram coletados ao total de 53 amostras dendrocronológicas. Entretanto, em campo, ao coletar as amostras, foi observado que alguns troncos estavam podres ou ocos por dentro (Figura 8), comprometendo a datação daquelas árvores. Portanto, das 53 amostras coletadas, 35 amostras que continham medula foram utilizadas para a técnica de datação cruzada, e 11 que estavam sem medula, foram utilizadas para estimar a idade por meio de regressão linear. E 7 indivíduos foram descartados, pois, foi impossível analisá-los em microscópio estereoscópico.

Para as amostras com medula das parcelas T (Transição), a amostragem total compreendeu 17 indivíduos (Tabela 3). Para as parcelas I (Interior), a amostragem total compreendeu 18 indivíduos (Tabela 3).

Dentre as 11 amostras sem medula, 5 pertencem às parcelas T e 6 às parcelas I, como observado na tabela 3.

Tabela 3 – Número de amostragem de indivíduos de *L. racemosa* com medula e sem medula por parcela e por ponto de estudo, e quantidade de amostras descartadas por ponto de estudo

| Parcela | Nº de amostras com medula | Total de amostras com medula | Nº de amostras sem medula | Total de amostras sem medula | Nº de Amostras descartadas |
|---------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|
| T1 | 4 | 9 | 0 | 0 | 1 |
| I1 | 5 | | 0 | | |
| T2 | 3 | 5 | 2 | 5 | 1 |
| I2 | 2 | | 3 | | |
| T3 | 3 | 7 | 2 | 3 | 1 |
| I3 | 4 | | 1 | | |
| T4 | 3 | 6 | 0 | 2 | 2 |
| I4 | 3 | | 2 | | |
| T5 | 4 | 8 | 1 | 1 | 2 |
| I5 | 4 | | 0 | | |

Fonte: A autora, 2018.

Figura 8 – Indivíduos de *L. racemosa* sem medula



Fonte: A autora, 2018.

Após a coleta, as amostras foram secas em temperatura ambiente por média de 15 dias, de forma a evitar a formação de rachaduras no lenho. Posteriormente, as amostras foram polidas (Figura 9) com lixas d'água em granulometria crescente (80 grãos/cm² à 600 grãos/cm²) acopladas a uma lixadeira elétrica orbital para aprimorar a visualização dos anéis de crescimento.

Após o tratamento das amostras, foram demarcados 3 raios em cada disco no sentido da medula até a casca (Figura 10) sob microscópio estereoscópico BEL Photonics STM Pro. Os raios foram demarcados nas regiões do disco com maior nitidez e sem defeitos aparentes e, em seguida, foram demarcados os limites dos anéis de crescimento. Após esse procedimento, cada amostra foi digitalizada em 600 dpi com scanner de alta resolução HP Scanjet G4050 e através das imagens, os anéis de crescimento foram medidos quanto à largura por meio do software de análise de imagens *Image Pro Plus 4.5* (Figura 11).

As séries de medidas geradas por e entre indivíduos (datação cruzada) foram correlacionados utilizando o software COFECHA (HOLMES et al., 1983). A datação cruzada auxilia na verificação da periodicidade de formação dos anéis de crescimento, pois trata-se de um processo de detecção dos padrões de variação de largura desses anéis entre árvores de uma determinada área (WORBES, 2002). O COFECHA se baseia na comparação entre as curvas de crescimento para facilitar a identificação de possíveis falsos anéis e certificar a confiabilidade da demarcação dos anéis de crescimento (KAENNEL e SCHWEINGRUBER, 1995; WORBES, 1995), e da determinação da idade das árvores.

Nesta etapa, as séries de medidas com melhor correlação entre si foram utilizadas para a construção da cronologia de cada parcela por ponto de estudo, e posteriormente de todos indivíduos das parcelas de transição e interior, com base no software ARSTAN (COOK e HOLMES, 1996; COOK e KAIRIUKSTIS, 1990;).

Adicionalmente, foi verificada a existência de algum padrão espacial de aumento ou diminuição da idade nas florestas de mangue em interface com marismas. Ou seja, se as florestas estão se expandindo de dentro para fora (a partir de um núcleo de colonização). Para tanto, as idades médias de cada ponto de estudo (descritas anteriormente) foram comparadas através de teste Man Whitney ($p < 0,05$). Posteriormente, foram elaborados histogramas de distribuição da frequência de árvores por classe etária (anos) e diâmetro médio (D_{meio}) (cm) através do teste de Kolmogorov-Smirnov (SOKAL e ROLF, 1980). Esse teste se baseia na comparação entre as frequências acumuladas relativas de cada classe entre duas distribuições. A frequência absoluta indica a porcentagem indivíduos determinada espécie que apresenta. A maior diferença modular entre classes (D) é comparada ao valor crítico do teste ($D\alpha$), que é calculado de acordo com a expressão:

$$D\alpha = K\alpha * [(n1 + n2)/(n1 * n2)]^{1/2} \quad (3)$$

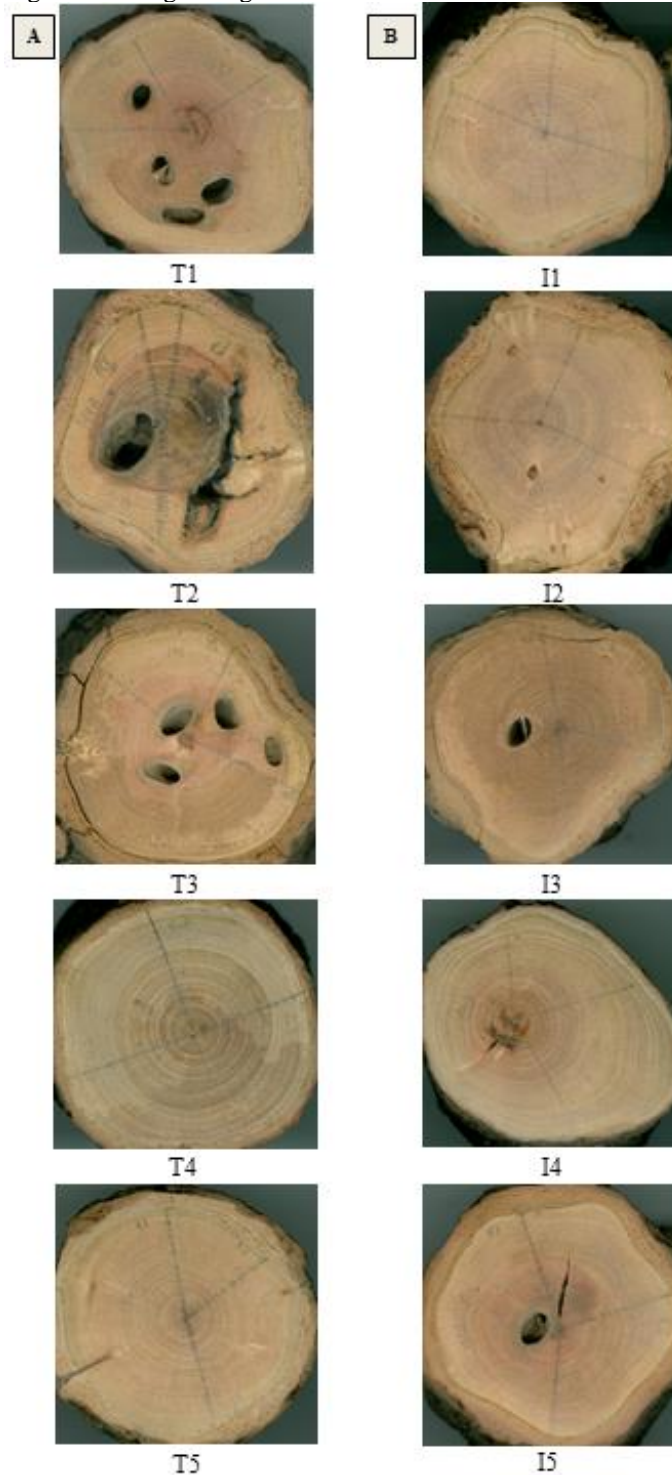
$$\text{onde } K\alpha = 1/2 * [-\ln(\alpha/2)]^{1/2}.$$

Caso o D seja menor que $D\alpha$, a hipótese nula (de que as distribuições são similares) é aceita, do contrário a hipótese alternativa (de que as distribuições são diferentes) deve ser aceita.

As distribuições de classe utilizadas para cada parcela consideram os valores de D_{meio} e idade de cada indivíduo de *L. racemosa*. Para a realização do teste, foram utilizadas classes com amplitude de 3 anos para as classes etárias e 1 cm, referentes aos diâmetros (D_{meio}) para comparação entre os tipos fisiográficos (transição e interior).

Como não foi possível estimar a idade das amostras dendrocronológicas sem medula por meio da datação cruzada, estas foram submetidas à regressão linear para estimar com segurança a idade da planta. A regressão, em geral, é uma equação que tem como objetivo estimar um valor que não se consegue estimar inicialmente.

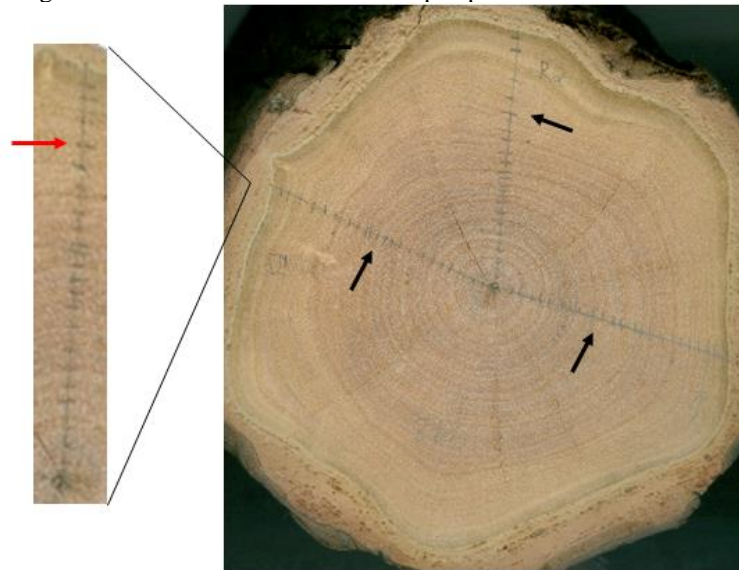
Figura 9 – Imagens digitalizadas de disco de base de troncos de *L. racemosa*



Legenda: Uma amostra por parcela em cada ponto de estudo. A) Indivíduos das parcelas T. B) Indivíduos das parcelas I.

Fonte: A autora, 2018.

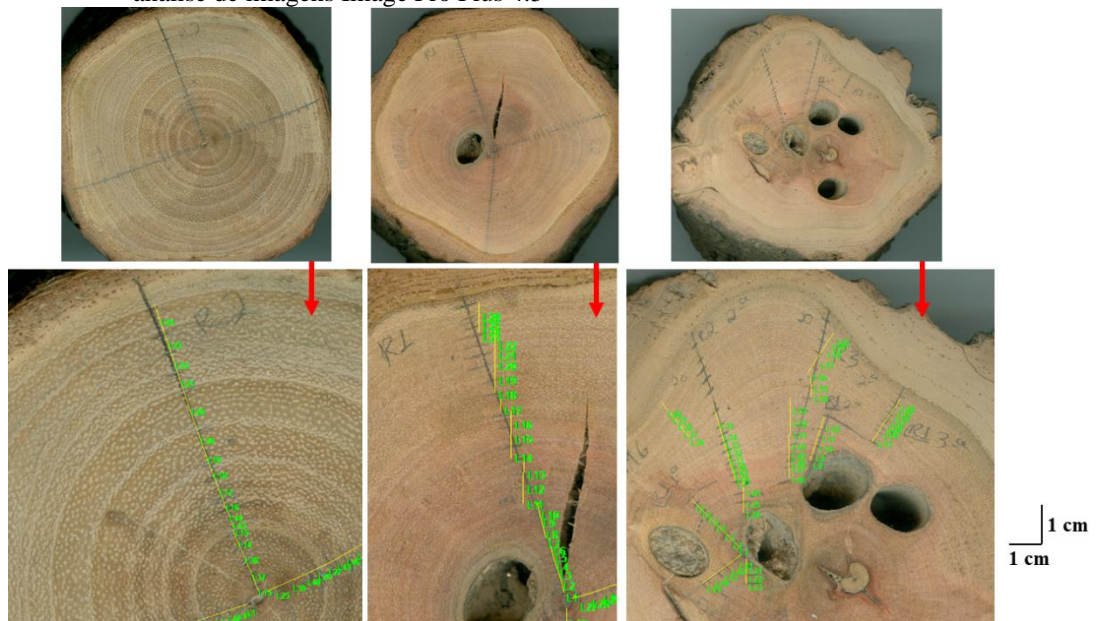
Figura 10 - Amostra de *L. racemosa* após polimento



Legenda: É possível observar na imagem acima os raios e limites dos anéis de crescimento demarcados. A imagem à esquerda representa um dos raios ampliado para melhor visualização da demarcação destes limites. Setas em preto indicam a marcação dos raios, seta em vermelho, a marcação do limite de um anel de crescimento.

Fonte: A autora, 2018.

Figura 11 – Amostra de *L. racemosa* com as marcações das medições realizadas pelo software de análise de imagens Image Pro Plus 4.5



Legenda: As setas em vermelho indicam a mesma imagem ampliada.

Fonte: A autora, 2018.

3.5 Análise da variação histórica da temperatura do ar por meio de dados de anomalias de temperatura do ar

Para avaliar se existe uma tendência de elevação da temperatura do ar nas últimas décadas que possa ter viabilizado um processo de expansão do manguezal sobre a marisma, foram utilizados dados de anomalias de temperatura entre o período de 1979 a 2015 e aplicados testes de matriz de correlação pelo programa STATISTICA 7.0.

Os dados de anomalias de temperatura são disponibilizados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2018), e os valores do período analisado são referentes às coordenadas geográficas correspondentes à região da cidade de Laguna (lat. -28,5 long. -48,8). Os conjuntos de dados utilizados para o cálculo da anomalia média da temperatura estão disponíveis na Rede Global de Clima Histórico-Mensal (GHCN-M sigla em inglês), versão GHCN-M 3.3.0. Tratam-se de dados oriundos de banco de dados compilados pela *World Meteorological Organization* (WMO) e interpolados para grids de 5° x 5°. O grid no qual Laguna está inserido engloba, em sua porção litorânea, o trecho do sul de São Paulo ao sul de Santa Catarina.

A correlação entre a série temporal de anomalias de temperatura e a cronologia máster (média das larguras dos anéis das amostras) visa avaliar se, além de permitir a expansão do manguezal sobre os bancos de marisma (hipótese deste estudo), a tendência de elevação de temperatura induz também o aumento das taxas de crescimento. Nesse caso, caracterizaria um processo de retroalimentação positivo, pois o aumento das taxas de crescimento pode se traduzir na aceleração do processo de expansão. Portanto, foram correlacionadas as médias mensais, anuais e sazonais (ano corrente) das anomalias de temperatura do ar com as cronologias máster de transição marisma/manguezal, interior e todos os indivíduos (Todas amostras analisadas no geral, sem diferenciação de tipo fisiográfico).

4 RESULTADOS

4.1 Salinidade

Os valores médios de salinidade superficial da água nos dois ecossistemas foram similares, com média de $17 \pm 2,4$ na marisma e $16 \pm 0,9$ no manguezal. Já os valores de salinidade da água intersticial dos sedimentos tiveram média de $20 \pm 3,3$ na marisma e $26 \pm 0,9$ no sedimento de manguezal (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de salinidade média e desvio padrão dos dados de salinidade

| | Ponto de estudo 1 | | Ponto de estudo 2 | |
|-------|------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | Salinidade superficial | | Salinidade intersticial | |
| | Marisma | Manguezal | Marisma | Manguezal |
| | 20 | 15 | 24 | 27 |
| | 15 | 17 | 16 | 25 |
| | 15 | 15 | 20 | 27 |
| Média | $17 \pm 2,4$ | $16 \pm 0,9$ | $20 \pm 3,3$ | $26 \pm 0,9$ |

Fonte: A autora, 2018.

4.2 Caracterização estrutural de marismas

Na lagoa de Santo Antônio, considerando todos os pontos de estudos de marisma analisadas, *Spartina alterniflora* é a espécie dominante em relação à *Spartina densiflora*.

Os pontos de estudos 1, 4 e 5 apresentaram composição monoespecífica de *S. alterniflora*, e alturas médias de 61, 61 e 51 cm, respectivamente (Tabela 5). As parcelas de marismas próximas ao corpo hídrico nestes pontos de estudos (M1, M4 e M5) apresentaram percentual de cobertura de 51-75%. Já as marismas intermediárias entre o corpo hídrico e manguezais atingiram 76-100% em Mi1, enquanto em Mi4 e Mi5 a cobertura vegetal manteve o mesmo valor de 51-75%. Entretanto, nas parcelas de transição com o manguezal (T1, T4 e T5) a cobertura se mostrou menos elevada, com 06-25% (Tabela 5).

O ponto de estudo 2 apresentou o único banco misto, com *S. alterniflora* localizada próxima ao corpo hídrico (M2) com 51-75% de cobertura de vegetação. Já a zona intermediária (Mi2) e a transição com manguezais (T2) apresentaram 76-100% e 51-75% de cobertura vegetal, respectivamente, e dominância de *S. densiflora* (Tabela 5). A altura média das marismas das parcelas da transversal 2 é de 61 cm.

O ponto de estudo 3 apresenta composição monoespecífica de *S. densiflora* e altura média de 57 cm. A estimativa de cobertura vegetal variou de 51-75% próximo ao corpo hídrico (M3) para 76-100% na zona intermediária (Mi3) e na transição com os manguezais (T3) esses valores caíram para 26-50% (Tabela 5). A altura média de marismas da M2 foi de 57cm.

Tabela 5 – Percentual de cobertura vegetal e altura de marismas nos pontos de estudos analisados

| Ponto de estudo | Parcela | % de Cobertura (Média) | | Altura da Marisma (cm) | | | Altura média ¹ (cm) |
|-----------------|---------|------------------------|----------------------|------------------------|-------|----------|--------------------------------|
| | | <i>S. Alterniflora</i> | <i>S. Densiflora</i> | Inferior | Média | Superior | |
| 1 | M1 | 51 - 75 | 0 | 41 | 63 | 80 | 61 |
| | Mi1 | 76 - 100 | 0 | 44 | 57 | 75 | |
| | T1 | 06 - 25 | 0 | 0 | 64 | 99 | |
| 2 | M2 | 51 - 75 | 0 | 45 | 55 | 72 | 61 |
| | Mi2 | 0 | 76 - 100 | 46 | 59 | 84 | |
| | T2 | 0 | 51 - 75 | 40 | 70 | 88 | |
| 3 | M3 | 0 | 51 - 75 | 40 | 52 | 63 | 57 |
| | Mi3 | 0 | 76 - 100 | 40 | 64 | 99 | |
| | T3 | 0 | 26 - 50 | 40 | 55 | 71 | |
| 4 | M4 | 51 - 75 | 0 | 42 | 58 | 70 | 51 |
| | Mi4 | 51 - 75 | 0 | 40 | 53 | 70 | |
| | T4 | 06 - 25 | 0 | 0 | 43 | 70 | |
| 5 | M5 | 51 - 75 | 0 | 32 | 61 | 87,00 | 50 |
| | Mi5 | 51 - 75 | 0 | 45 | 58 | 75 | |
| | T5 | 06 - 25 | 0 | 0 | 32 | 78 | |

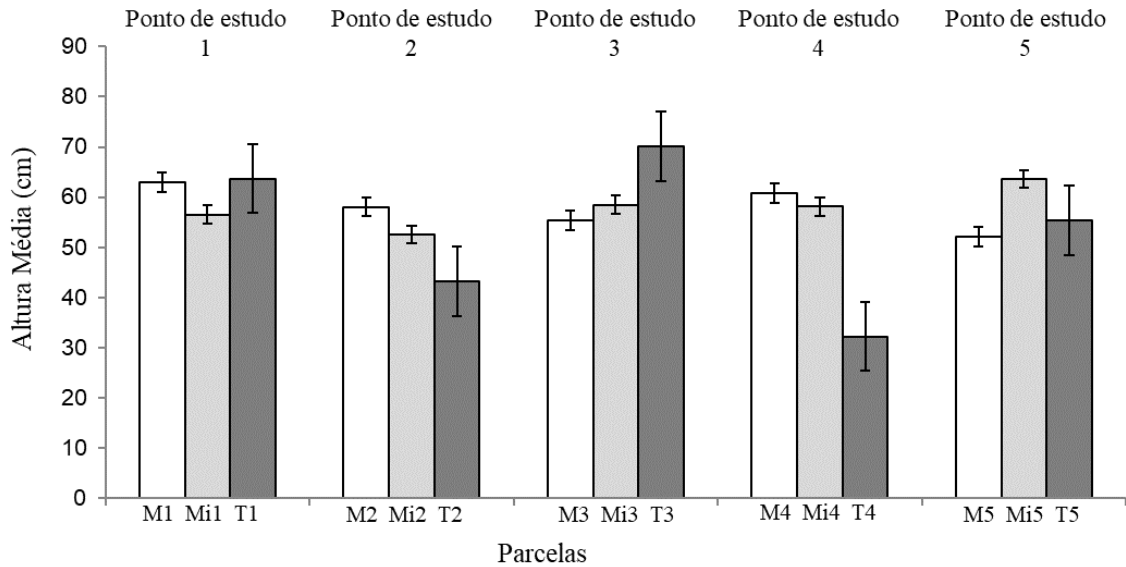
Legenda: ¹– Altura média do ponto de estudo.

Fonte: A autora, 2018.

Na Figura 12 pode-se observar que quando comparadas às alturas médias de cada parcela por ponto de estudo observa-se 3 padrões distintos: no ponto 1 e 5 ocorre diferenças nas alturas das parcelas Mi, porém entre as parcelas M e T os valores se mantem estáveis. Nos pontos 2 e 3 o desenvolvimento vertical sofre uma queda das parcelas próximas ao corpo hídrico (M) em direção à transição com os manguezais (T). Ao passo que no ponto 3 esse padrão se inverte, onde o maior valor de altura se encontra na transição com o manguezal (parcela T3).

O teste Kruskal Wallis não indicou diferenças significativas ($p = 0,93$) na comparação entre a altura das marismas (Figura13), nas parcelas próxima ao corpo hídrico (M), intermediária (Mi) e de transição (T).

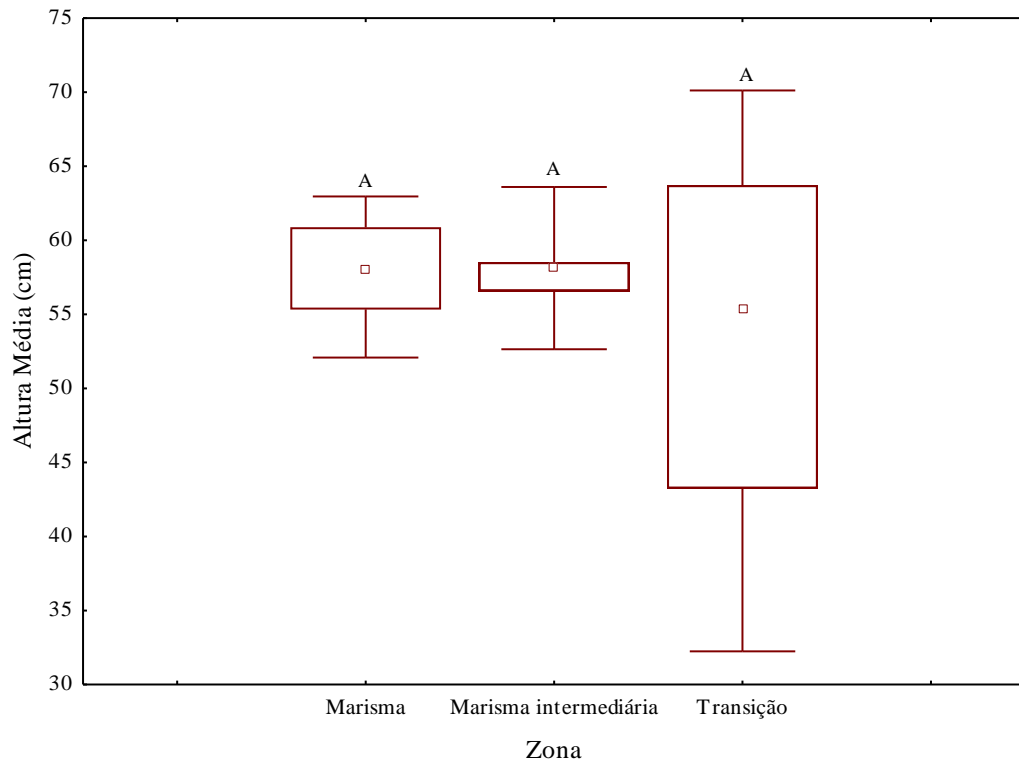
Figura 12 – Altura média de marismas por parcela



Legenda: As caixas brancas representam as parcelas de marismas próximas ao corpo hídrico (M), as caixas cinza-claro representam as marismas intermediárias entre corpo hídrico e manguezais (Mi) e as caixas cinza-escuro representam as marismas nas parcelas de transição com os manguezais (T). as barras pretas representam o desvio padrão por parcela.

Fonte: A autora, 2018.

Figura 13 – Gráfico Bloxplot indicando a Médiana (símbolos internos), percentis de 25 a 75% (box) e desvio mínimo e máximo (barras) de altura das marismas por zona



Legenda: As letras associadas a cada tratamento indicam o resultado da análise não paramétrica de Kruskal-Wallis, letras semelhantes indicam que não ocorreu diferença significativa.

Fonte: A autora, 2018.

4.3 Caracterização estrutura de manguezais

4.3.1 Composição de espécies

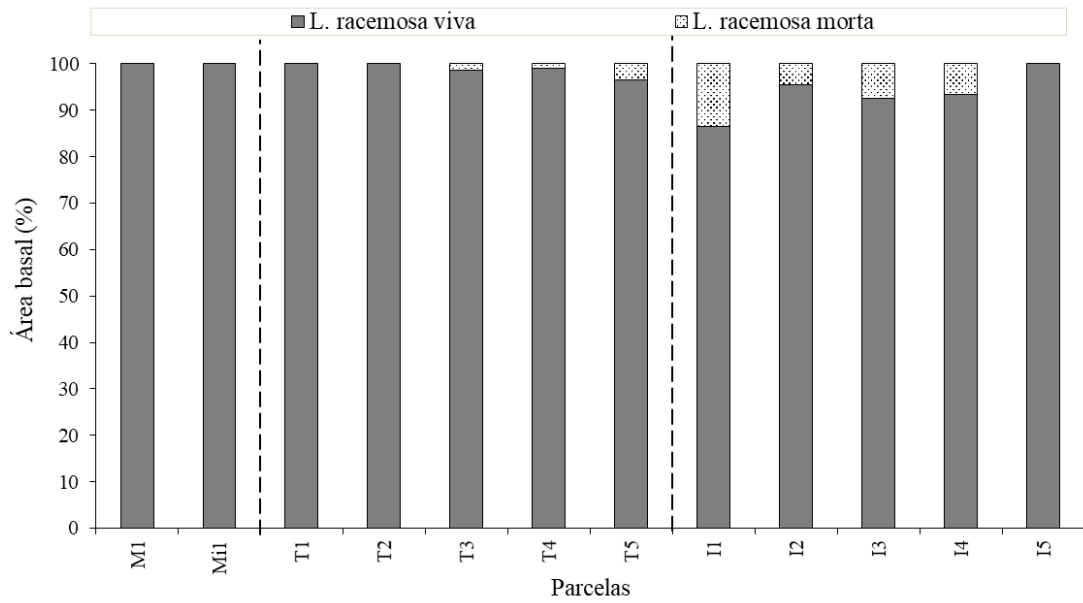
As espécies de mangue encontradas na lagoa de Santo Antônio foram *Avicennia schaueriana* e *Laguncularia racemosa*. Entretanto, *A. schaueriana* ocorre de maneira esparsa e é representada por poucos indivíduos em alguns pontos da lagoa. Assim, é importante ressaltar que esta espécie não foi capturada pelas parcelas estabelecidas para este estudo. Portanto, as parcelas estudadas representam florestas monoespecíficas de *L. racemosa* (Figura 14 e Tabela 6), fisionomia dominante em Laguna.

4.3.2 Desenvolvimento estrutural

As árvores de mangue de Laguna são caracterizadas por arquitetura arbórea/arbustiva extremamente ramificada. É possível observar essa característica na tabela 6, ao analisar a relação troncos/indivíduos. Além disso, este parâmetro citado, aponta que as árvores de mangue de todas as transições analisadas são mais ramificadas que as árvores de interior de seus respectivos pontos de estudos. Nota-se que o ponto de estudo 1 é ponto em que as árvores de transição possuem a maior diferença na relação tronco/indivíduos (3,1) que no interior (1,1). Ainda no ponto 1, pode-se observar que as parcelas M1 e Mi1 com presença de colonização espécies de mangue apresentaram relação 1, ou seja, correspondente às plântulas e jovens ali encontradas (Figura 15). Entretanto, foi na transição do ponto de estudo 4 que a relação tronco/indivíduo foi maior, com 3,5 seguido do ponto 5 com 3,4.

Já a contribuição de troncos mortos é, de forma geral, baixa (i.e., menor que 15%) em todos os pontos de estudos. Nas parcelas T1 e T2 não foram observados indivíduos mortos, enquanto em T3, T4 e T5, a contribuição de indivíduos mortos foi inferior a 4% (Tabela 6). Nas parcelas de interior de manguezais a maior porcentagem de troncos mortos foi de 13% em I1 e o menor valor foi em I5, com nenhum tronco morto (Figura 14). Nas parcelas de marismas do ponto de estudo 1 é possível observar a ocorrência de espécies de mangue, estas são representadas por plântulas e jovens de *L. racemosa*, e não foram observados indivíduos mortos. Este ponto de estudo é o mais interno na Lagoa de Santo Antônio (Figura 1), próximo à foz do rio Sambaqui, os parâmetros estruturais analisados para a colonização de manguezais estão expostos na tabela 6.

Figura 14 – Contribuição em área basal de troncos vivos e mortos por parcela



Legenda: M1 e Mi1 correspondem à ocorrência de plântulas e jovem de mangue nos bancos de marismas, algo observado apenas no ponto de estudo 1. As transições entre marismas e manguezais são representadas pela T1 à T5. Já o interior das parcelas I1 à I5. A linha tracejada preta representa a divisão entre os tipos fisiográficos na imagem.

Fonte: A autora, 2020.

Figura 15 – Ocorrência de plântulas e jovens de *L. racemosa* (setas vermelhas) em bancos de marisma de *S. alterniflora* no ponto de estudo 1, presentes nas parcelas M1 e Mi1



Fonte: A autora, 2018.

Tabela 6 – Densidade, diâmetro médio ($D_{\text{médio}}$), altura média (\pm desvio padrão), área basal, contribuição de troncos em área basal viva e morta e relação troncos/indivíduos de *L. racemosa*

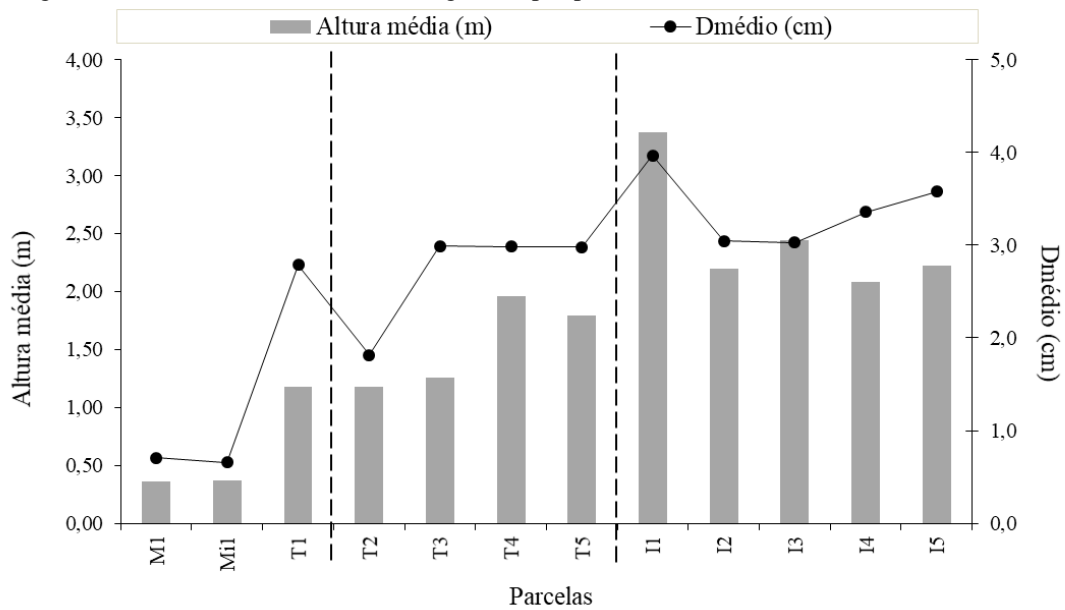
| Ponto de estudo | Parcela | Densidade (tr. vivos.ha ⁻¹) | Diâmetro médio (cm) | Altura média (m) e desvio padrão \pm | Área Basal (m ² .ha ⁻¹) | Contribuição em Área Basal (%) | | Relação troncos/indivíduos |
|-----------------|---------|---|---------------------|--|--|--------------------------------|-------|----------------------------|
| | | | | | | viva | morta | |
| 1 | M1 | 2000 | 0,7 | 0,36 \pm 0,03 | 0,1 | 100 | 0 | 1 |
| | Mi1 | 12800 | 0,7 | 0,37 \pm 0,10 | 0,4 | 100 | 0 | 1 |
| | T1 | 14400 | 2,8 | 1,17 \pm 0,76 | 8,8 | 100 | 0 | 3,11 |
| | I1 | 18000 | 4,0 | 3,38 \pm 0,79 | 25,7 | 87 | 13 | 1,13 |
| 2 | T2 | 52800 | 1,8 | 1,18 \pm 0,28 | 13,7 | 100 | 0 | 2,63 |
| | I2 | 44400 | 4,0 | 2,20 \pm 0,47 | 34,0 | 95 | 5 | 2,14 |
| 3 | T3 | 34000 | 3,0 | 1,25 \pm 0,26 | 24,2 | 99 | 1 | 3,24 |
| | I3 | 72400 | 3,0 | 2,45 \pm 0,63 | 56,3 | 93 | 7 | 2,02 |
| 4 | T4 | 20400 | 3,0 | 1,96 \pm 0,26 | 14,4 | 99 | 1 | 3,52 |
| | I4 | 22800 | 3,4 | 2,08 \pm 0,26 | 21,6 | 94 | 6 | 3,00 |
| 5 | T5 | 18400 | 3,0 | 1,79 \pm 0,36 | 13,3 | 97 | 3 | 3,42 |
| | I5 | 33600 | 3,6 | 2,22 \pm 0,49 | 33,8 | 100 | 0 | 2,93 |

Fonte: A autora, 2018.

Analisando o desenvolvimento estrutural dos manguezais, excluindo as parcelas de plântulas e jovens do ponto de estudo 1, foi observada que a densidade varia de 14.400 a 72.400 tr.vivos.ha⁻¹, a altura de 1,17 \pm 0,79 a 3,38 \pm 0,79 m, $D_{\text{médio}}$ entre 1,8 a 4,0 e a área basal entre 9 a 56m².ha⁻¹ (Tabela 6).

De maneira geral, o interior de manguezais apresentou maior desenvolvimento estrutural, com maiores valores de altura, $D_{\text{médio}}$, área basal e densidades. Porém, com exceção do ponto de estudo 2 (parcelas T2 e I2) em relação à densidade, que apresentou um padrão inverso aos demais, com densidade de 52,800 troncos vivos.ha⁻¹ na transição e 44.400 tr.vivos.ha⁻¹ no interior (Tabela 6).

As transições apresentaram altura média entre 1,17 \pm 0,76 m (T1) e 1,96 \pm 0,29 m (T4), $D_{\text{médio}}$ entre 1,8 cm (T2) e 3,0 cm (T3 e T4) (Figura 16). Já os interiores dos manguezais são mais desenvolvidos verticalmente, com altura média entre 2,08 \pm 0,62 (I4) e 3,38 \pm 0,79 (I1) e $D_{\text{médio}}$ entre 3,0 cm (I3) e 4,0 cm (I1).

Figura16 – $D_{\text{médio}}$ e altura média de manguezais por parcela.

Legenda: A linha tracejada indica a separação de parcelas de colonização (M e Mi), transição (T) e interior (I).

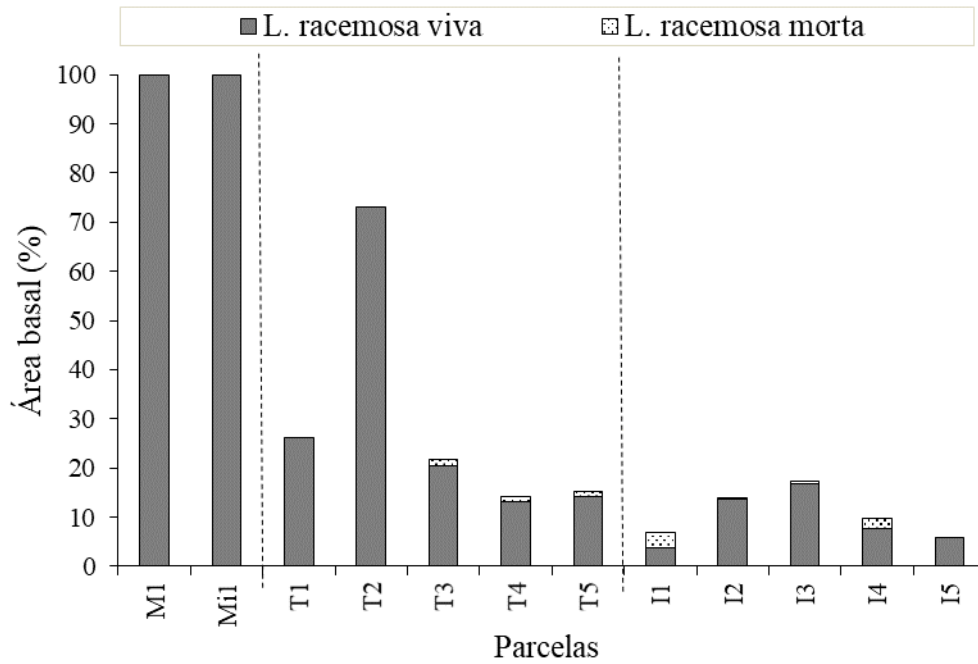
Fonte: A autora, 2018.

A contribuição em área basal por espécie e classes de D_{meio} ($D_{\text{meio}} < 2,5$ cm e $D_{\text{meio}} \geq 2,5$ cm), é apresentada nas Figuras 17 e 18. A análise dos gráficos reforça a identificação que as florestas de transição são menos desenvolvidas, com os menores percentuais de contribuição na classe de $D_{\text{meio}} \geq 2,5$ cm, e os maiores nas classes de $D_{\text{meio}} < 2,5$ cm.

Na transição a menor área basal foi de $8,8 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (com 100% de indivíduos vivos), com maior contribuição em área basal na classe de diâmetros $\geq 2,5$ cm (74%). O maior valor em área basal foi de $24,2 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (com 99% indivíduos vivos), com maior contribuição em área basal na classe de diâmetros $\geq 2,5$ cm (78%) (Figura 18).

No interior a menor área basal foi de $21,6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (com 94% de indivíduos vivos), com maior contribuição em área basal na classe de diâmetros $\geq 2,5$ cm (86%). O maior valor em área basal foi $56,3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (com 93% indivíduos vivos), com maior contribuição em área basal na classe de diâmetros $\geq 2,5$ cm (76%) (Figura 18).

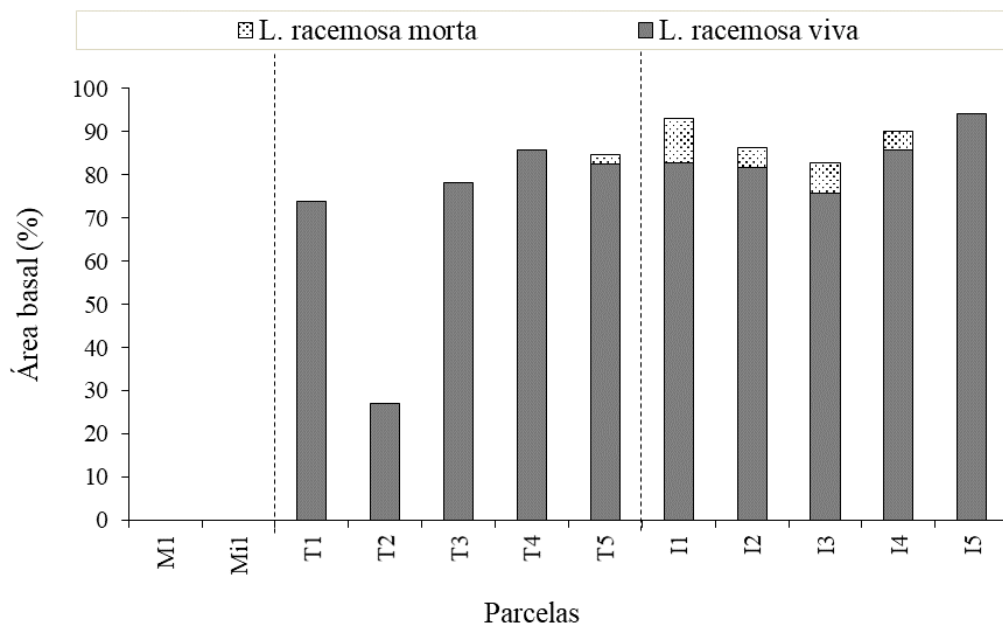
Figura 17 – Contribuição em área basal de troncos vivos e mortos de *L. racemosa* com $D_{meio} < 2,5$ cm por tipo fisiográfico



Legenda: A linha tracejada indica a separação de parcelas de colonização (M e Mi), transição (T) e interior (I).

Fonte: A autora, 2018.

Figura 18 – Contribuição em área basal de troncos vivos e mortos de *L. racemosa* com $D_{meio} \geq 2,5$ cm por tipo fisiográfico



Legenda: Linha tracejada preta indica a separação de parcelas de colonização (M e Mi), transição (T) e interior (I).

Fonte: A autora, 2018.

4.3.3 Análises estatísticas

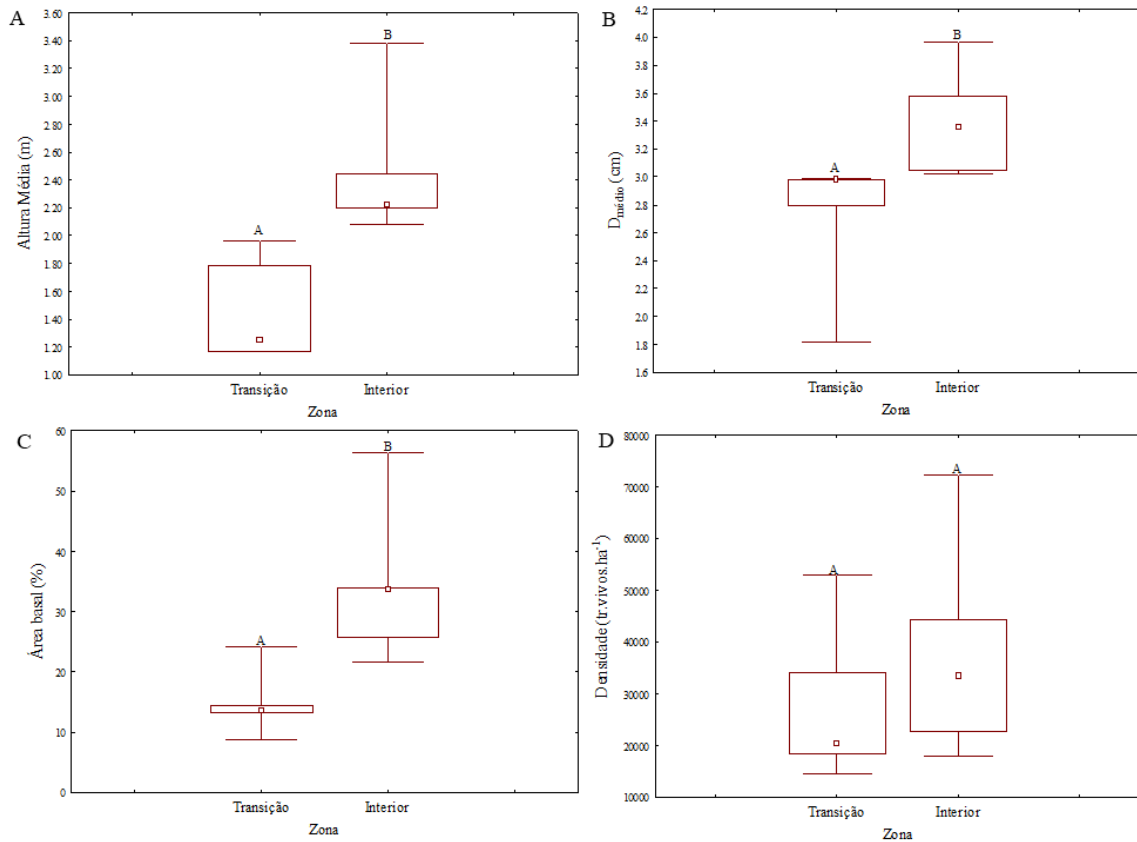
Os parâmetros estruturais das florestas analisadas para os testes não paramétricos Mann-Whitney são descritos na Tabela 7. De forma geral, a análise das medianas destes parâmetros estruturais apresentam uma clara distinção quanto ao desenvolvimento estrutural das florestas entre as zonas fisiográficas, com as florestas de interior mais desenvolvida que as de transição, corroborando a análise por parcela descrita na seção anterior. Esse comportamento é observado pelas árvores de interior apresentarem valores significativamente maiores para altura média, $D_{\text{médio}}$ e área basal (Tabela 7; figura 19 A, B e C) em relação à transição. Porém, quando analisado o parâmetro de densidade entre tipos fisiográficos (Figura 19 D), não foi observada diferença significativa.

Tabela 7 – Resultados da análise não paramétrica Mann – Whitney para os parâmetros de estrutura de manguezais. Os testes são significativos em $p < 0,05$.

| Variável | U | p |
|--------------------|----------|-------------|
| Altura média | 0,00 | 0,01 |
| $D_{\text{médio}}$ | 0,00 | 0,01 |
| Área basal | 1,00 | 0,02 |
| Densidade | 9,00 | 0,46 |

Fonte: A autora, 2018.

Figura 19 – Gráfico Bloxplot indicando a Mediana (símbolos internos), percentis de 25 a 75% (box) e desvio mínimo e máximo (barras) de altura média (A), $D_{\text{médio}}$ (B), Área basal (C) e densidade (D) de manguezais por tipo fisiográfico



Legenda: As letras associadas a cada tratamento indicam o resultado da análise não paramétrica de Mann – Whitney, letras distintas indicam diferença significativa (A, B e C).

Fonte: A autora, 2018.

4.4 Análise dendrocronológica

4.4.1 Caracterização etária

A datação cruzada dos indivíduos de *L. racemosa* para todas as parcelas referente à transição gerados pelo programa COFECHA apresentaram uma correlação significativa, com $r = 0,30$ e sensibilidade de 0,354 (Tabela 8). Entretanto, a correlação crítica com um nível de confiança para o SPLINE 40 utilizado é de 0,36. Porém, ao analisar os índices de correlação e sensibilidade obtidos em cada parcela por zona fisiográfica é possível observar que a correlação entre os indivíduos foi significativa (Tabela 9), com valores acima de 0,36. O maior valor

encontrado de correlação para as parcelas de transição foi na T4 ($r = 0,64$ e $0,363$ de sensibilidade) e o menor foi na parcela T3 ($r = 0,41$ e $0,371$ de sensibilidade).

Já para todas as parcelas de interior, a datação cruzada gerada pelo COFECHA foi significativa com $r = 0,39$ e sensibilidade de $0,402$ (Tabela 8). Quando analisadas as parcelas individualmente (Tabela 9), observa-se o maior valor de correlação na parcela I3 ($r = 0,52$ e $0,387$ de sensibilidade) e o menor valor para a parcela I1 ($r = 0,36$ e $0,382$ de sensibilidade).

Ao analisar todos os 35 indivíduos juntos (transição + interior) a correlação obtida para a espécie *L. racemosa* na região de Laguna é de $0,36$ (Tabela 8).

A partir da confirmação da datação cruzada, foi possível aferir a idade das árvores de *L. racemosa*. Além das idades, as taxas de crescimento e as cronologias residuais foram calculadas com estas 35 árvores.

Na transição, a cronologia se inicia em 1991 com término em 2015, correspondente ao ano do último anel formado, respectivamente à data de coleta. As árvores apresentaram idades entre 09 e 24 anos. Esse dado da cronologia de transição é validado nas idades alcançadas por cada amostra das parcelas de transição (Apêndice 1).

Já as parcelas de interior apresentaram correlação significativa de acordo com o COFECHA ($r = 0,39$). As idades variaram entre 19 e 36 anos (Figura 20), e a cronologia inicia em 1979 com término em 2015 (Apêndice 1). Na Figura 20 ainda é possível visualizar a existência de uma sincronização entre as duas cronologias.

Quando analisado a cronologia de todos os indivíduos de uma maneira geral, é possível observar que a dinâmica de crescimento das árvores de *L. racemosa* se caracteriza por um pico de crescimento no início de vida das árvores e posteriormente, diminuição desse crescimento, seguido por um novo incremento e crescimento estável ao longo do tempo (Figura 21). Além disso, é possível observar 5 anos indicadores na cronologia geral, ou seja, 5 anos que apresentam anéis com largura destacadamente maior ou menor ao longo da cronologia: 1980, 1982, 1983 (baixo), 1988 e 2014.

Tabela 8 – Resumo dos dados gerados pelo COFECHA para as zonas de transição e interior e todos os indivíduos (transição + interior) com índice de correlação e sensibilidade média. Todas correlações possuem $< 0,01$

| Tipo fisiográfico | Correlação | Sensibilidade |
|--------------------------|-------------------|----------------------|
| Transição | $r = 0,30$ | 0,354 |
| Interior | $r = 0,39$ | 0,402 |
| Todos indivíduos | $r = 0,36$ | 0,383 |

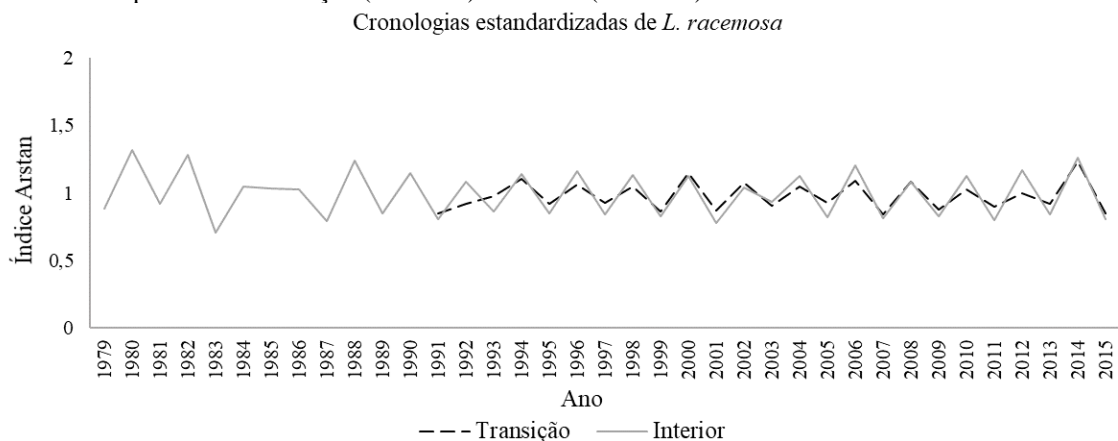
Fonte: A autora, 2018.

Tabela 9 – Resumo dos dados gerados pelo COFECHA para as parcelas dos tipos fisiográfico de transição e interior, com número de indivíduos por parcela, índice de correlação e sensibilidade média para as árvores de *L. racemosa*. Todas correlações possuem $< 0,01$

| Local | Parcela | Nº de indivíduos | Correlação | Sensibilidade |
|--------------|----------------|-------------------------|-------------------|----------------------|
| Transição | T1 | 4 | $r = 0,43$ | 0,337 |
| | T2 | 3 | $r = 0,47$ | 0,262 |
| | T3 | 3 | $r = 0,41$ | 0,371 |
| | T4 | 3 | $r = 0,64$ | 0,363 |
| | T5 | 4 | $r = 0,42$ | 0,391 |
| Interior | I1 | 5 | $r = 0,36$ | 0,382 |
| | I2 | 2 | $r = 0,42$ | 0,387 |
| | I3 | 4 | $r = 0,52$ | 0,387 |
| | I4 | 3 | $r = 0,51$ | 0,467 |
| | I5 | 4 | $r = 0,47$ | 0,406 |

Fonte: A autora, 2018.

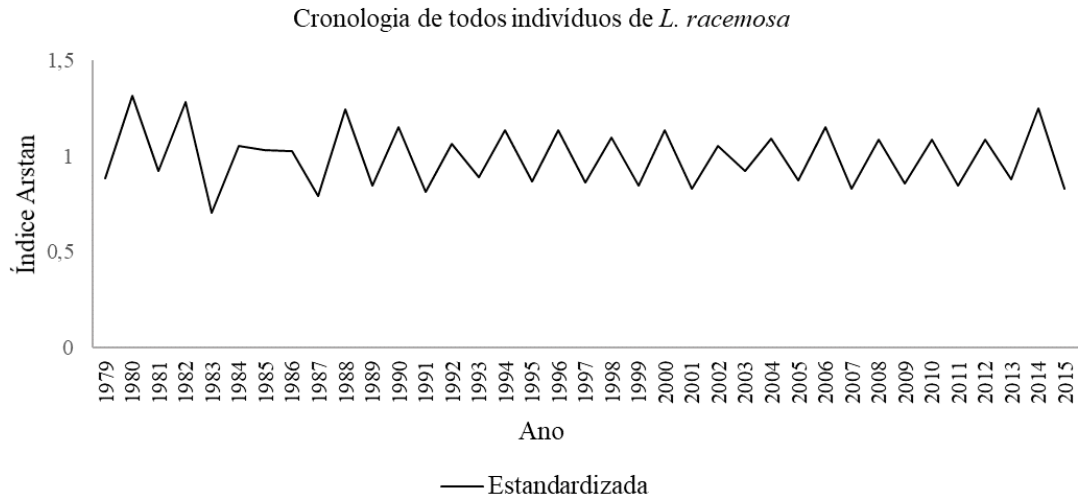
Figura 20 – Cronologias estandarizadas pelo ARSTAN dos indivíduos de *L. racemosa* com meduladas parcelas de transição (Total: 17) e Interior (Total: 18)



Legenda: A linha tracejada em preto representa o tipo fisiográfico de transição e a linha cinza representa o interior de manguezais.

Fonte: A autora, 2018.

Figura 21 – Cronologia estandardizada pelo ARSTAN de todos os indivíduos (Total: 35) de *L. racemosa* com medula.

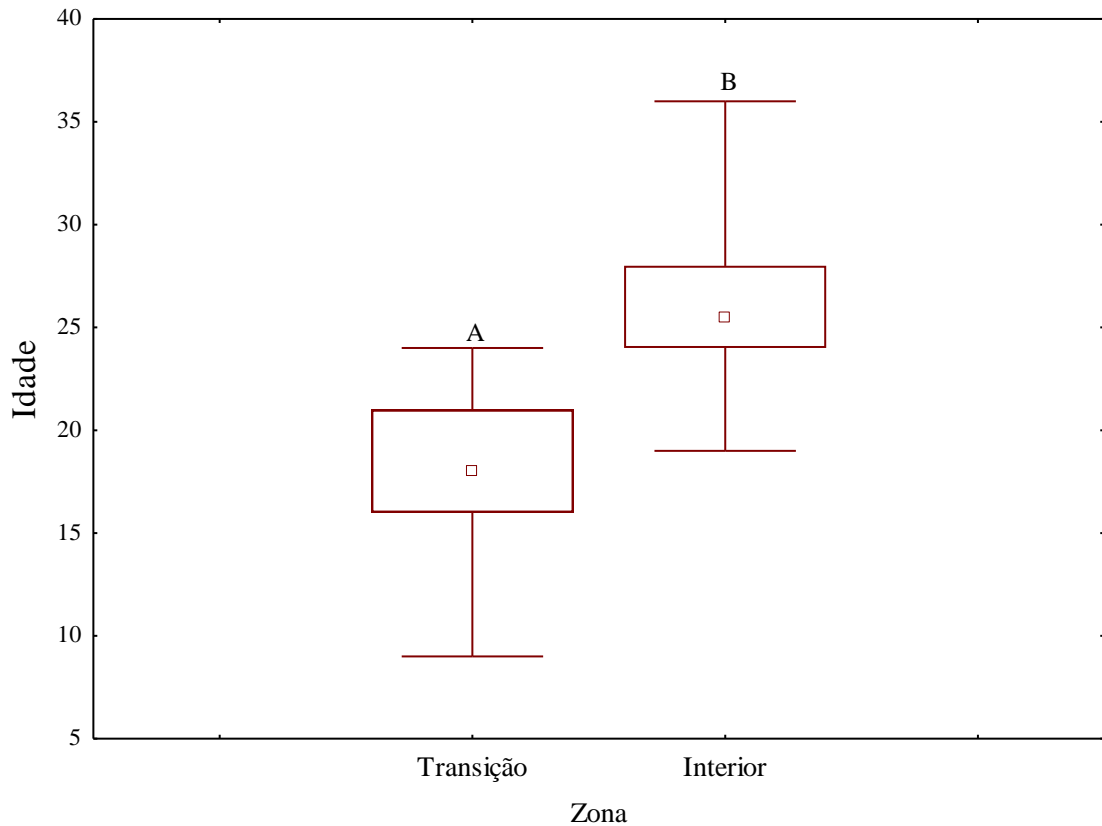


Fonte: A autora, 2018.

4.4.2 Análises estatísticas

Por meio de análise realizada com o teste não paramétrico de Mann-Whitney (Teste U) foi possível observar diferença significativa ($p < 0,05$) para a idade entre as zonas de transição marisma/manguezal e interior de manguezais (Figura 22). Os valores de foram mais baixos para as árvores de transição (Tabela 10).

Figura 22 – Gráfico Bloxplot indicando a Médiana (símbolos internos), percentis de 25 a 75% (box) e desvio mínimo e máximo (barras) da idade das amostras com medula utilizadas para a cronologia das árvores de *L. racemosa* por zona fisiográfica de transição e interior de floresta



Legenda: As letras associadas a cada tratamento indicam o resultado da análise não paramétrica de Mann – Whitney, letras distintas indicam diferença significativa.

Fonte: A autora, 2018.

Tabela 10 – Resultados da análise não paramétrica Mann – Whitney para idade das árvores de *L. racemosa* com cernes utilizados para a construção das cronologias. Os testes são significativos em $p < 0,05$

| Parâmetro | U | p |
|-----------|------|--------|
| Idade | 16,5 | < 0,01 |

Fonte: A autora, 2018.

O histograma geral de todas as amostras de *L. racemosa* com medula (Figura 23) indica que há maior número de indivíduos entre duas classes por anos, referente às classes 21 – 24 e 24 – 27 anos, sendo 8 indivíduos por classe (Total: 16) (Figura 23 A). Portanto, correspondem aos anos de 1988 a 1994. Já no histograma de todas as amostras por classes de D_{meio} , observa-se que a distribuição está entre as classes 2 – 3 a 9 – 10 cm. Pode-se observar também que na classe de 7 – 8 cm estão inseridas a maior parte das amostras (Total: 9), seguidos da classe 8 – 9 cm com 6 indivíduos (Figura 23 B).

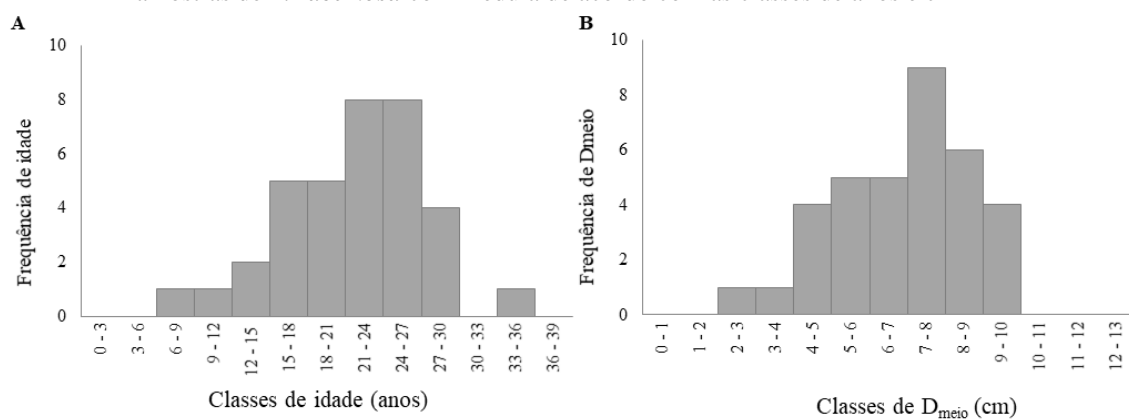
Quando realizado o histograma de distribuição diamétrica e etária por tipos fisiográficos das amostras de árvores de mangue com medula (transição e interior), observa-se de maneira geral que na transição, os gráficos indicam o domínio de árvores mais jovens, com picos de idade entre 15 e 18 anos (Total: 5) (Figura 24 A) e entre as primeiras classes de diâmetro médio, ou seja, 5 indivíduos com diâmetro entre 5 – 6 cm, seguido da classe 4 – 5 cm com 4 indivíduos (Figura 24 B).

No interior dos manguezais os indivíduos estão distribuídos em sua maioria entre as classes de idade 24 – 27 anos (Total 8) (Figura 24 A) e nas classes de D_{meio} entre 7 – 8 cm (Total: 7) seguido da classe 8 – 9 cm com 6 indivíduos (Figura 24 B).

O teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (K-S) apontou que as distribuições de frequências absolutas de idade e D_{meio} dos tipos fisiográfico são distintas ($D\alpha < D$) (Tabela 11). Tal resultado reforça a hipótese que existem estágios diferentes de amadurecimento entre transição e interior.

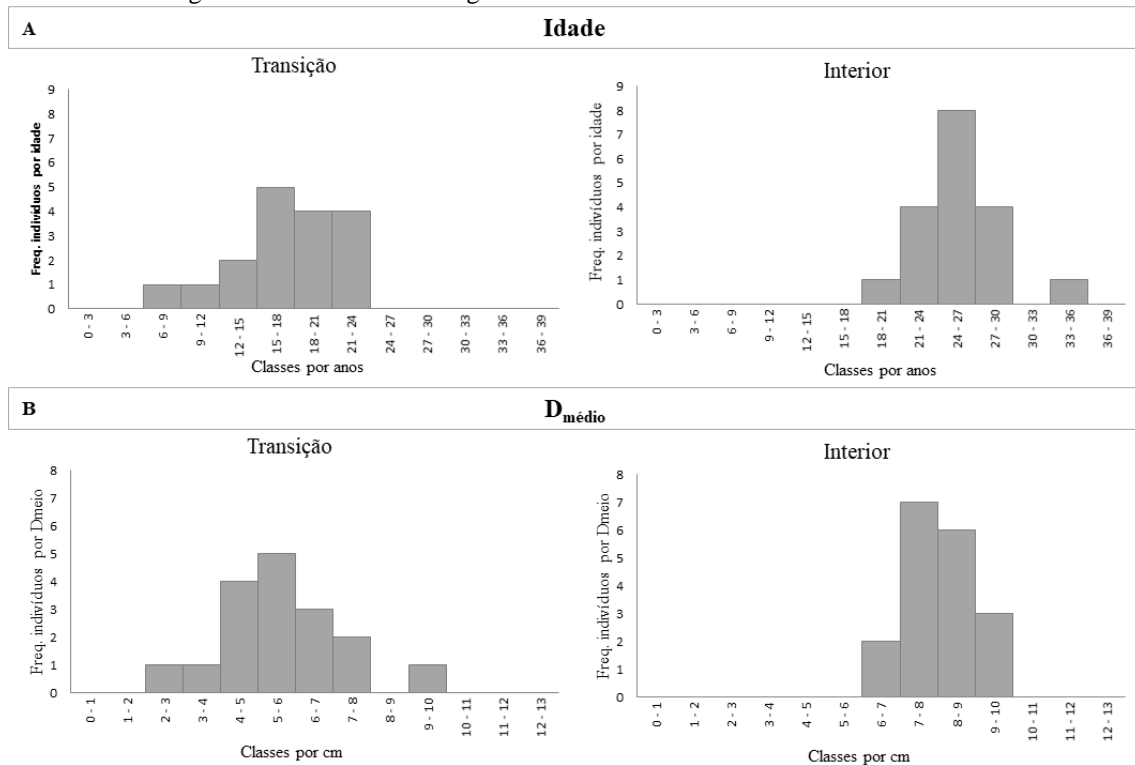
A Tabela 12, indica os valores de D_{meio} nas parcelas de transição variam de 3,0 cm (T2) a 9,6 cm (T3). A idade mínima obtida na transição foi 9 anos (T2) e a idade máxima foi de 24 (T3). Para os indivíduos de *L. racemosa* do interior, o menor valor para D_{meio} foi de 6,7 cm na I5 e o maior foi 9,7 cm na I1. Já a idade variou de 19 anos na I5 a 36 anos na I2.

Figura 23 – Distribuição de frequências absolutas de idade (A) e diâmetro médio (D_{meio}) (B) todas as amostras de *L. racemosa* com medula de acordo com as classes de anos e cm



Fonte: A autora, 2018.

Figura 24 – Distribuição de frequências absolutas de idade (A) e diâmetro médio (B) em cada tipo fisiográfico de floresta de mangue de *L. racemosa* de acordo com classes de anos e cm



Fonte: A autora, 2018.

Tabela 11 – Resultados do teste Kolmogorov-Smirnov com distribuições distintas entre transição e interior de manguezais ($D_{\alpha} < D$) entre as frequências das classes de idade e D_{meio} .

| Parâmetro | D | D_{α} | p |
|------------|------|--------------|------------------|
| Idade | 0,72 | 0.46 | < 0,01 |
| D_{meio} | 0,65 | 0.46 | < 0,01 |

Fonte: A autora, 2018.

Tabela 12 – Resumo dos dados com número de indivíduos com cerne por parcela, médias, mínimo e máximo de D_{meio} e idade

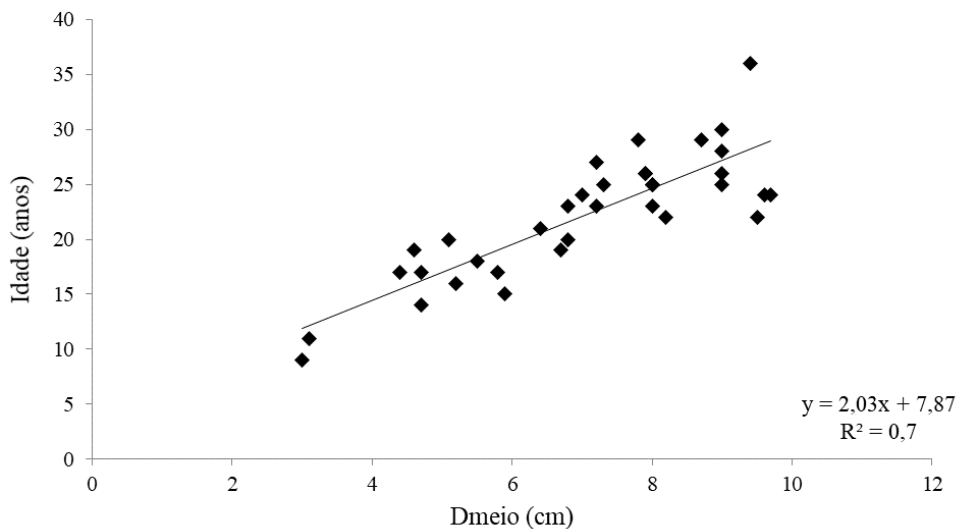
| Parcela | Nº indivíduos | D_{meio} Médio | D_{meio} Mínimo | D_{meio} Máximo | Idade média | Idade mínima | Idade máxima |
|---------|---------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| T1 | 4 | 6,1 | 4,7 | 8,0 | 17±1,2 | 14 | 23 |
| T2 | 3 | 3,5 | 3,0 | 4,4 | 12±0,6 | 9 | 17 |
| T3 | 3 | 7,9 | 6,8 | 9,6 | 22±1,2 | 20 | 24 |
| T4 | 3 | 5,0 | 4,7 | 5,2 | 18±0,2 | 16 | 20 |
| T5 | 4 | 5,8 | 4,6 | 6,8 | 20±0,8 | 18 | 23 |
| I1 | 5 | 9,2 | 9,0 | 9,7 | 25±2,0 | 22 | 28 |
| I2 | 2 | 9,1 | 8,7 | 9,4 | 33±3,5 | 29 | 36 |
| I3 | 4 | 7,8 | 7,3 | 8,0 | 26±1,6 | 25 | 29 |
| I4 | 3 | 7,4 | 7,0 | 8,0 | 25±1,2 | 24 | 27 |
| I5 | 4 | 8,0 | 6,7 | 9,0 | 24±4,1 | 19 | 30 |

Fonte: A autora, 2018.

A análise de regressão linear possibilitou descrever a relação existente entre idades e D_{meio} das amostras com medula.

A regressão foi significativa e apresentou um coeficiente de determinação ($R^2= 0,71$, $p<0,05$), confirmando que a idade pode ser estimada com razoável grau de certeza dentro da faixa de diâmetros considerada (Figura 25).

Figura 25 – Regressão linear mostrando a curva de correlação entre as variáveis idade (x) e D_{meio} (y).



Legenda: Coeficiente de determinação estimado (R^2) para todos os indivíduos de *L. racemosa*.
Fonte: A autora, 2018.

Desta forma foi possível estimar a idade de indivíduos de *L. racemosa* sem medula por meio da função:

$$\text{Idade} = 2,03 * D_{\text{meio}} + 7,87 \quad (4)$$

Os valores destes cálculos estão apresentados na Tabela 13. Nenhuma das amostras sem medula apresentou idade estimada mais elevada que as observadas para as amostras com medula. Portanto, caso as mesmas possuíssem medula e tivessem sido utilizadas nas análises, teriam servido apenas para aprimorar os resultados, gerando possível melhoria nos coeficientes de correlação e na sensibilidade. Mas não teriam influência na compreensão do período em que transição e interior começaram a ser colonizados.

Tabela 13 – Idade estimada de indivíduos de *L. racemosa* sem medula a partir de cálculo de regressão linear.

| Tipo fisiográfico | D_{meio} (cm) | Idade estimada (Anos) | Ano inicial de crescimento |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Transição | 4,6 | 17 | 1998 |
| | 6,5 | 21 | 1994 |
| | 6,5 | 21 | 1994 |
| | 5,1 | 18 | 1997 |
| | 7,5 | 23 | 1992 |
| Interior | 10 | 28 | 1987 |
| | 9,1 | 26 | 1989 |
| | 7,3 | 23 | 1992 |
| | 7,7 | 24 | 1991 |
| | 8 | 24 | 1991 |
| | 6,6 | 21 | 1994 |

Fonte: A autora, 2018.

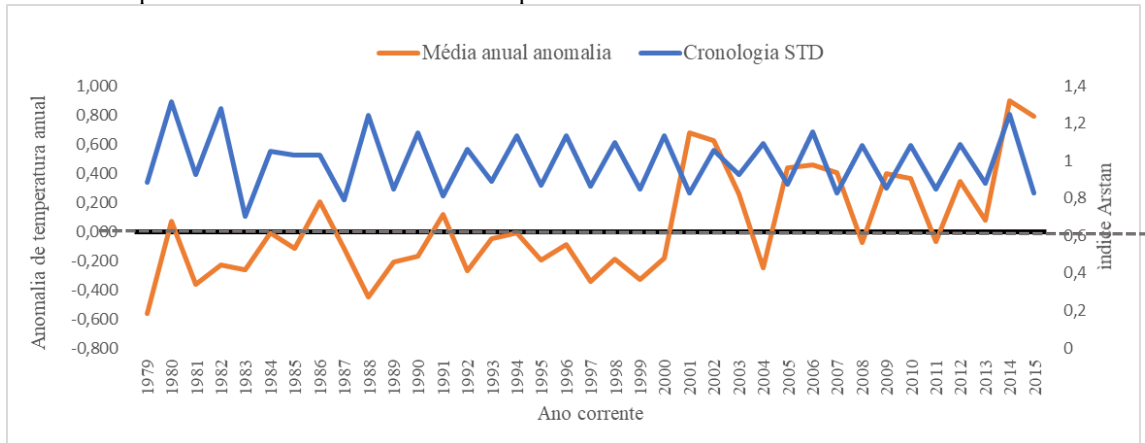
4.5 Análise dendroclimatológica

A variação temporal da anomalia média anual de temperatura do ar entre os anos de 1979 a 2015 apresentou uma tendência de aumento crescente de temperatura (Figura 26; Tabela 14). Nos anos iniciais pode-se observar as maiores anomalias negativas, além disso, a tendência de variação dos anéis está mais sincronizada às anomalias nesse período, que compreende as décadas de 80 e 90. Há também uma evidente tendência de diminuição de anomalias negativas e elevação da incidência de anomalias positivas ao longo dos anos. Essa tendência é corroborada pelo gráfico de dispersão da figura 27. A partir dos anos 2000 as anomalias positivas prevalecem, e são poucos os anos com média de anomalia negativa, são eles: 2000, 2004, 2008 e 2013. Além disso, os cinco anos que apresentaram índices com maiores anomalias positivas são: 2014 (0,9°C), 2015 (0,8°C), 2001 (0,7°C), 2002 (0,6°C) e 2006 (0,5°C).

Nota-se também na figura 26 que entre os anos de 2005 a 2007 os índices de anomalias positivas tendem à uma estabilização e seus valores giram em torno de 0,40 a 0,46°C. Ainda, na mesma imagem, é possível destacar os anos de 1983, 1997 e 1999 com anomalias negativas coincidindo com menores crescimento anuais, e os anos de 1980, 1984, 1986, 2002, 2010, 2012

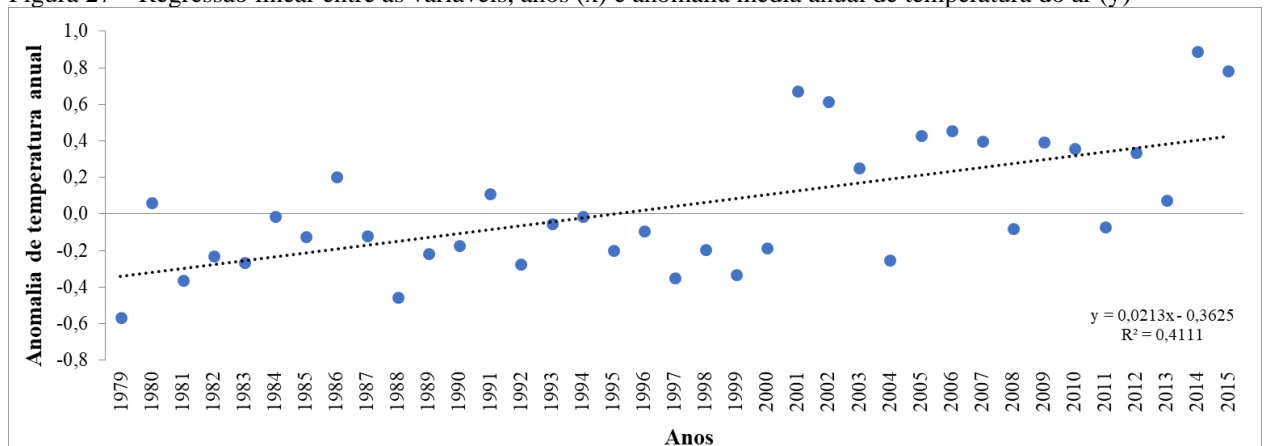
e 2014 com anomalias positivas que se manteve sincronizada com a cronologia, o que por sua vez pode favorecer o crescimento anual de anéis daquele ano.

Figura 26 – Variação do índice de crescimento de anéis anuais de todos os indivíduos (geral) em relação ao padrão de anomalias médias de temperatura do ar anual



Fonte: A autora, 2018.

Figura 27 – Regressão linear entre as variáveis, anos (x) e anomalia média anual de temperatura do ar (y)

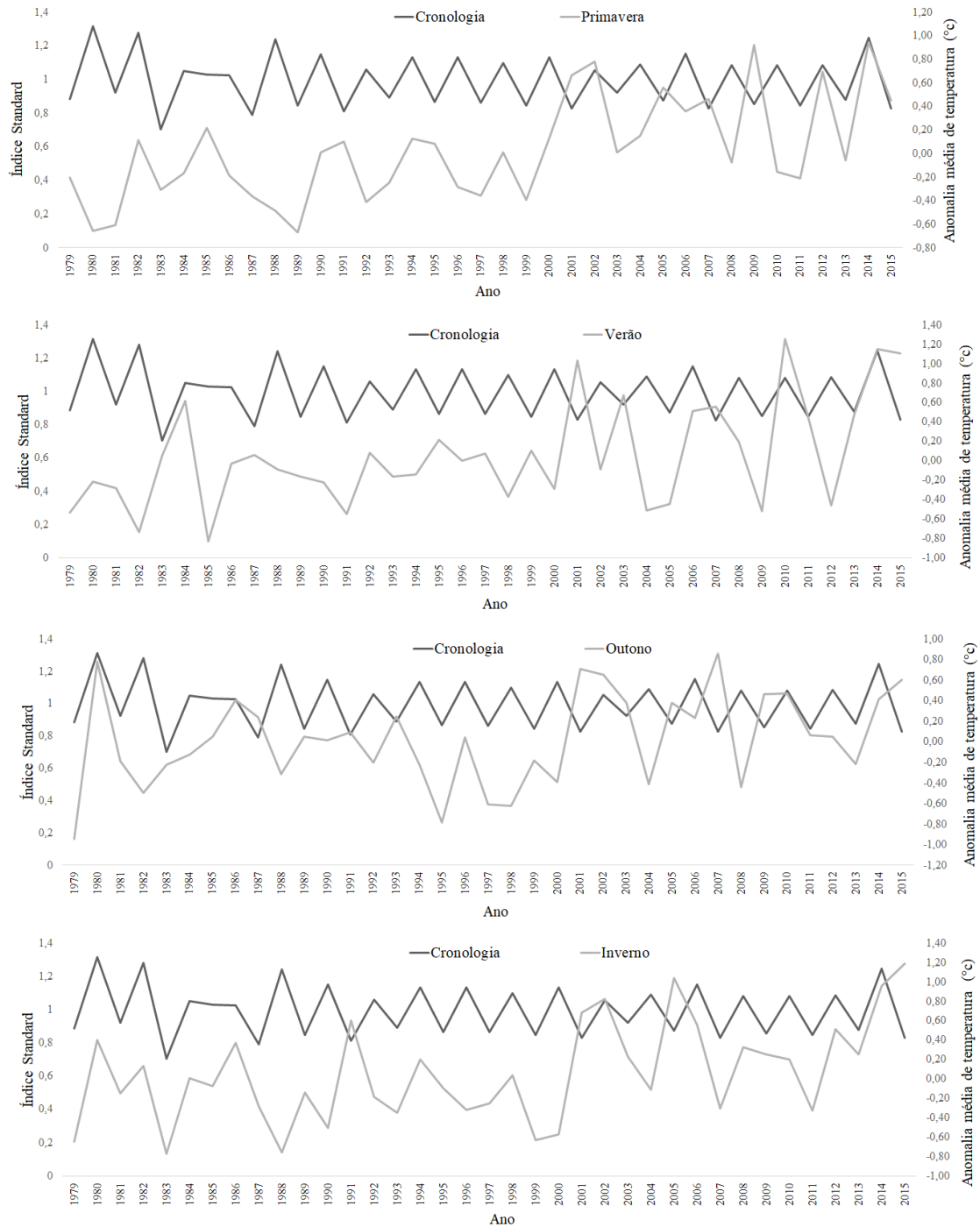


Legenda: Tendência com certa correlação e coeficiente de determinação de $r^2=0,41$.

Fonte: A autora, 2018.

Ao analisar as anomalias de temperatura do ar por estação do ano, é possível confirmar o padrão de elevação de temperatura a partir do ano 2000 (Figura 28). As cinco maiores medidas de anomalias positivas de todas as estações compreendem o período de 2001 a 2015, com única exceção do outono de 1980, que obteve uma média de anomalia de $0,8^{\circ}\text{C}$, a 2ª mais alta para estação entre o período de 1979 a 2015 (Tabela 14).

Figura 28 – Variação do índice de crescimento de anéis anuais em relação ao padrão de anomalias de temperatura do ar sazonal média



Fonte: A autora, 2018.

Tabela 14 – Índices de anomalias de temperatura do ar referente ao período de crescimento das árvores de *L. racemosa* em Laguna/SC, 1979 a 2015, de acordo com os dados da NOAA

| Anomalias de temperatura do ar | | | | | |
|---------------------------------------|------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
| Ano | Sazonal | | | | Anual |
| | Primavera | Verão | Outono | Inverno | |
| 1979 | -0,2 | -0,5 | -0,9 | -0,6 | -0,6 |
| 1980 | -0,7 | -0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,1 |
| 1981 | -0,6 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | -0,4 |
| 1982 | 0,1 | -0,7 | -0,5 | 0,1 | -0,2 |
| 1983 | -0,3 | 0,1 | -0,2 | -0,8 | -0,3 |
| 1984 | -0,2 | 0,6 | -0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 1985 | 0,2 | -0,8 | 0,1 | -0,1 | -0,1 |
| 1986 | -0,2 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 0,2 |
| 1987 | -0,4 | 0,1 | 0,2 | -0,3 | -0,1 |
| 1988 | -0,5 | -0,1 | -0,3 | -0,8 | -0,5 |
| 1989 | -0,7 | -0,2 | 0,1 | -0,1 | -0,2 |
| 1990 | 0,0 | -0,2 | 0,0 | -0,5 | -0,2 |
| 1991 | 0,1 | -0,6 | 0,1 | 0,6 | 0,1 |
| 1992 | -0,4 | 0,1 | -0,2 | -0,2 | -0,3 |
| 1993 | -0,3 | -0,2 | 0,3 | -0,4 | 0,0 |
| 1994 | 0,1 | -0,1 | -0,2 | 0,2 | 0,0 |
| 1995 | 0,1 | 0,2 | -0,8 | -0,1 | -0,2 |
| 1996 | -0,3 | 0,0 | 0,0 | -0,3 | -0,1 |
| 1997 | -0,4 | 0,1 | -0,6 | -0,3 | -0,3 |
| 1998 | 0,0 | -0,4 | -0,6 | 0,0 | -0,2 |
| 1999 | -0,4 | 0,1 | -0,2 | -0,6 | -0,3 |
| 2000 | 0,1 | -0,3 | -0,4 | -0,6 | -0,2 |
| 2001 | 0,7 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 2002 | 0,8 | -0,1 | 0,7 | 0,8 | 0,6 |
| 2003 | 0,0 | 0,7 | 0,4 | 0,2 | 0,3 |
| 2004 | 0,2 | -0,5 | -0,4 | -0,1 | -0,2 |
| 2005 | 0,6 | -0,4 | 0,4 | 1,0 | 0,4 |
| 2006 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 0,5 |
| 2007 | 0,5 | 0,6 | 0,9 | -0,3 | 0,4 |
| 2008 | -0,1 | 0,2 | -0,4 | 0,3 | -0,1 |
| 2009 | 0,9 | -0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,4 |
| 2010 | -0,2 | 1,3 | 0,5 | 0,2 | 0,4 |
| 2011 | -0,2 | 0,5 | 0,1 | -0,3 | -0,1 |
| 2012 | 0,7 | -0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,3 |
| 2013 | -0,1 | 0,5 | -0,2 | 0,3 | 0,1 |
| 2014 | 0,9 | 1,2 | 0,4 | 1,0 | 0,9 |
| 2015 | 0,5 | 1,1 | 0,6 | 1,2 | 0,8 |

Legenda: Índices médios sazonais e anuais. Números em negrito indicam anomalias positivas.

Fonte: A autora, 2018.

O teste de matriz de correlação não detectou correlações significativas ($p < 0,05$) entre a cronologia estandardizada pelo ARSTAN de todos os indivíduos e as médias anuais e sazonais

(primavera, verão, outono, inverno) de anomalia de temperatura (Tabelas 15) para os anos correntes de formação dos anéis. Ou seja, apesar dos gráficos de anomalias de temperatura apontarem algumas tendências de variação coincidentes com as observadas pelos anéis de crescimento, essas tendências observadas não foram corroboradas pelo teste de correlação.

Tabela 15 – Resultados (valor de r) do teste de matriz de correlação entre as cronologias estandardizadas de todos os indivíduos com medula e as médias sazonais e anuais de anomalia de temperatura. Todas as correlações apresentaram $p > 0,05$

| | Valor de r | | | | |
|------------------|------------|-------|--------|---------|-------------|
| | Primavera | Verão | Outono | Inverno | Média anual |
| Todos Indivíduos | 0,03 | -0,12 | -0,06 | 0,11 | 0,00 |

Fonte: A autora, 2018.

Entretanto, ao analisar a cronologia geral (todos os indivíduos) por zona fisiográfica (transição e interior) em relação às anomalias de temperaturas médias mensais dos anos correspondentes às formações dos anéis (1979 a 2015), é possível verificar que houve correlação positiva significativa para o mês de outubro ($p < 0,01$), tanto para transição e interior, quanto para as duas zonas juntas (Tabela 16 e Figura 29). Nota-se também correlação negativa significativa ($p < 0,01$) entre o mês de março (Figura 30) com a cronologia da transição, indicando uma relação inversamente proporcional. Ou seja, em meses de março anormalmente quentes as árvores na transição tendem a crescer menos do que o normal.

Na tabela 17 é possível observar que entre os anos de 2000 a 2015 as anomalias do mês de outubro em sua maioria são positivas, o que pode ter influência direta sobre as cronologias das árvores de mangue. Cabe ressaltar que, para o mesmo período, o mês de novembro também apresentou a maioria das anomalias anuais positivas, entretanto, este não apresentou valores significativos ($p > 0,01$).

Tabela 16 – Resultados do teste de matriz de correlação (r) entre as cronologias estandardizadas geral (todos os indivíduos), de transição e interior de manguezais com médias mensais de anomalia de temperatura do ar

| Ano corrente | Anomalias de temperatura do ar - média mensal | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|------|--------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------------|-------|------|
| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| Transição | 0,24 | 0,27 | -0,41 | -0,25 | -0,00 | -0,12 | 0,29 | 0,14 | -0,03 | 0,60 | -0,16 | 0,22 |
| Interior | 0,20 | 0,08 | -0,23 | -0,10 | -0,25 | -0,17 | 0,31 | -0,08 | 0,03 | 0,39 | -0,13 | 0,04 |
| Todos indivíduos | -0,21 | 0,11 | -0,25 | -0,12 | -0,25 | -0,17 | 0,29 | -0,09 | -0,01 | 0,40 | -0,14 | 0,03 |

Legenda: Os valores em negrito indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Fonte: A autora, 2018.

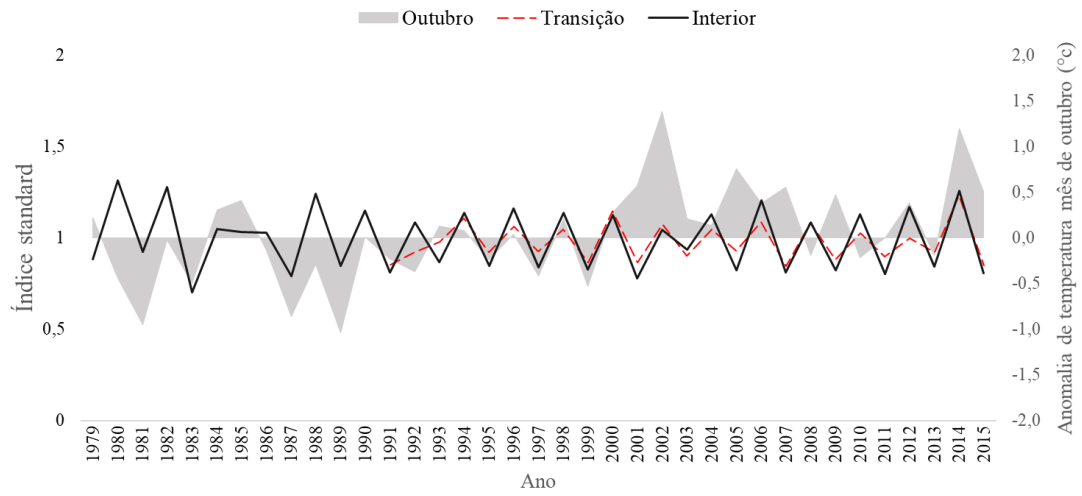
Tabela 17 – Índices de anomalias de temperatura do ar referente aos meses de início de crescimento das árvores de *L. racemosa* em Laguna/SC, entre o período de 1979 a 2015 de acordo com os dados da NOAA. Índices médios mensais

| Ano | Anomalias de temperatura do ar | | | | | | | | | | | |
|------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Mensal | | | | | | | | | | | |
| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| 1979 | -1,0 | -0,5 | -0,9 | -1,1 | -0,8 | -1,5 | -0,8 | 0,3 | -0,4 | 0,2 | -0,4 | 0,1 |
| 1980 | -0,6 | -0,1 | 0,9 | 0,5 | 0,9 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | -0,7 | -0,4 | -0,8 | -0,1 |
| 1981 | -0,4 | -0,4 | -0,3 | -0,7 | 0,4 | -0,3 | -0,2 | 0,0 | -0,6 | -1,0 | -0,3 | -0,7 |
| 1982 | -1,1 | -0,4 | -0,8 | -0,3 | -0,4 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 0,7 | 0,0 | -0,4 | -0,5 |
| 1983 | 0,5 | 0,1 | -0,3 | -0,4 | 0,0 | -0,7 | -0,7 | -1,0 | -0,8 | -0,5 | 0,4 | 0,1 |
| 1984 | 0,8 | 1,0 | 0,1 | -0,8 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | -0,5 | -0,3 | 0,3 | -0,5 | -1,0 |
| 1985 | -1,1 | -0,4 | -0,1 | 0,2 | 0,1 | -0,5 | 0,0 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,0 | -0,5 |
| 1986 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | -0,1 | -0,2 | -0,1 | -0,2 | 0,3 |
| 1987 | 0,3 | -0,4 | 0,4 | 0,8 | -0,5 | -1,2 | 0,2 | 0,2 | -0,1 | -0,9 | -0,1 | -0,1 |
| 1988 | 0,4 | -0,6 | 0,0 | -0,5 | -0,4 | -1,4 | -0,8 | -0,1 | -0,4 | -0,3 | -0,8 | -0,5 |
| 1989 | -0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | -0,7 | 0,1 | -0,2 | -1,0 | -0,8 | -0,3 |
| 1990 | -0,3 | -0,1 | -0,2 | 0,4 | -0,2 | -0,5 | -0,6 | -0,4 | -0,8 | 0,0 | 0,8 | -0,2 |
| 1991 | -0,7 | -0,8 | -0,4 | 0,0 | 0,7 | 0,9 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | -0,2 | 0,0 | 0,5 |
| 1992 | -0,1 | -0,1 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | 0,7 | -0,4 | -0,9 | -0,3 | -0,4 | -0,6 | -0,6 |
| 1993 | -0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | -0,3 | -1,0 | -0,9 | 0,1 | 0,0 | 0,4 |
| 1994 | -0,7 | -0,1 | -0,6 | -0,8 | 0,7 | 0,4 | 0,4 | -0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| 1995 | 0,6 | -0,3 | -0,8 | -0,8 | -0,7 | -0,8 | 0,1 | 0,5 | 0,4 | -0,2 | 0,1 | -0,3 |
| 1996 | -0,1 | 0,3 | -0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,1 | -1,0 | -0,1 | -0,9 | 0,0 | 0,0 | 0,4 |
| 1997 | 0,2 | -0,3 | -0,5 | -0,8 | -0,5 | -0,8 | -0,1 | 0,1 | -0,3 | -0,4 | -0,4 | -0,3 |
| 1998 | -0,5 | -0,3 | -0,3 | -0,9 | -0,6 | -0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | -0,3 | 0,2 |
| 1999 | 0,2 | -0,1 | 0,4 | -0,4 | -0,5 | -1,1 | -0,4 | -0,5 | 0,2 | -0,5 | -0,8 | -0,4 |
| 2000 | 0,0 | -0,5 | -0,6 | -0,3 | -0,2 | 0,0 | -0,8 | -0,9 | -0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,8 |
| 2001 | 0,9 | 1,4 | 1,5 | 0,7 | -0,1 | 0,6 | 0,5 | 1,0 | 1,1 | 0,6 | 0,3 | -0,3 |
| 2002 | 0,1 | 0,0 | 0,8 | 0,3 | 0,9 | 1,0 | 0,4 | 1,0 | 0,2 | 1,4 | 0,7 | 0,6 |
| 2003 | 0,5 | 0,9 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,5 | -0,2 | -0,4 | 0,2 | 0,2 | -0,2 |
| 2004 | -0,6 | -0,8 | -0,8 | 0,2 | -0,6 | -0,2 | -0,3 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | -0,2 | -0,5 |
| 2005 | -0,2 | -0,6 | -0,1 | 0,5 | 0,7 | 1,4 | 0,7 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 0,3 | 0,1 |
| 2006 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,4 | -0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | 0,1 | 0,6 |
| 2007 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 0,1 | -0,1 | -0,4 | -0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,2 | 0,7 |
| 2008 | 0,2 | -0,4 | -0,6 | -0,4 | -0,3 | -0,1 | 0,6 | 0,5 | -0,2 | -0,2 | 0,1 | -0,2 |
| 2009 | -0,9 | -0,5 | 0,1 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,0 | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 1,6 | 1,2 |
| 2010 | 1,1 | 1,4 | 0,6 | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 0,7 | -0,3 | 0,0 | -0,2 | -0,2 | 0,2 |
| 2011 | 0,5 | 0,6 | 0,0 | 0,3 | -0,1 | -0,3 | -0,4 | -0,3 | -0,1 | 0,0 | -0,5 | -0,5 |
| 2012 | -0,8 | -0,1 | 0,1 | -0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,8 | 1,1 | 0,4 | 0,6 | 1,2 |
| 2013 | 0,2 | 0,0 | -0,6 | -0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,0 | 0,2 | -0,2 | -0,2 | 0,8 |
| 2014 | 1,4 | 1,2 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,7 | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 1,2 | 1,0 | 1,1 |
| 2015 | 1,4 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 1,1 | 0,8 | 1,6 | 0,8 | 0,5 | 0,1 | 0,5 |

Legenda: Números em negrito indicam anomalias positivas.

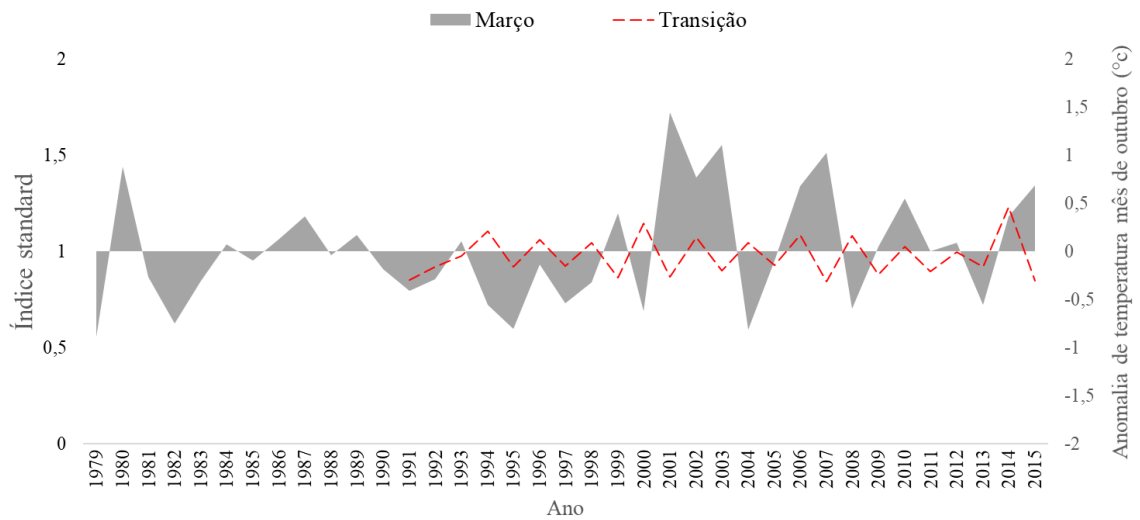
Fonte: A autora, 2018.

Figura 29 – Variação de largura dos anéis de crescimento de anéis anuais em relação ao padrão de anomalias de temperatura média do ar do mês de outubro



Fonte: A autora, 2018.

Figura 30 – Variação de largura dos anéis de crescimento de anéis anuais da transição em relação ao padrão de anomalias de temperatura média do ar do mês de março



Fonte: A autora, 2018.

5 DISCUSSÃO

5.1 Salinidade

Os valores encontrados para salinidade podem ser considerados intermediários, indicando que este não é um fator determinante para o baixo desenvolvimento estrutural dos manguezais de Laguna. As espécies típicas de mangue apresentam taxa de crescimento máxima em condições de baixa salinidade, entre 5 e 50‰ da salinidade da água do mar (BALL, 1988). Em altas salinidades, a eficiência fotossintética é afetada, ao acarretar baixa condutância estomática, que causa o decréscimo nas taxas de CO₂ acumulado e transpiração, e consequentemente, limitando o crescimento do indivíduo (BALL, 1988; SOBRADO, 2006) e, indiretamente, mediando competições interespecíficas (BALL, 1988). Entretanto, a tolerância ao sal apresenta comportamento distinto conforme a espécie de mangue.

Nesse contexto, o gênero *Rhizophora* sp. é o gênero menos tolerante e têm desenvolvimento máximo em salinidades que variam de 8 a 18 (HOPPE-SPEER et al., 2011), desenvolvendo-se melhor em locais onde há 50 partes de sal por 1.000 partes de água. Os gêneros *Laguncularia* sp., e *Avicennia* sp., possuem glândulas excretoras de sal, tornando-as mais tolerantes à salinidade, sendo que *Avicennia* possui a maior tolerância. Para *Avicennia*, o crescimento e o desenvolvimento de propágulos e plântulas, a salinidade estabelecida é de no máximo 50‰ da água do mar (BALL, 1988). No entanto, uma vez que as plântulas estejam maduras e não mais dependentes de reservas nutritivas, a salinidade ótima para o crescimento é menor, variando de 10‰ a 25‰ da água do mar (BALL, 1988), salinidade em torno de 9. Já *L. racemosa* suporta valores considerados intermediários. Sobrado (2006) sugere que, à medida que aumenta a salinidade, a capacidade de transporte de água em *L. racemosa* tende a diminuir em associação com a maior eficiência de uso de água observada em alta salinidade.

Os valores para a salinidade da água intersticial encontrados neste estudo corroboram os valores reportados por SOARES et al. (2012) para Laguna: 20,4 a 30,4. Valgas (2009) e Meurer e Netto (2007) encontraram valor de salinidade de águas superficiais de 12 na Lagoa de Santo Antônio no verão, mesma estação de coleta deste estudo. Já Fonseca e Netto (2006) apontaram salinidade superficial média anual de 19. Para estes autores, o inverno é a estação com maior salinidade, pois os fortes ventos S-SE predominantes facilitam a entrada das águas marinhas no Sistema Estuarino de Laguna. Por outro lado, durante o verão os ventos de NE

empurram as massas de água para a margem sul da lagoa, diminuindo a salinidade. A salinidade mais alta encontrada tanto nas águas superficiais de manguezais quanto em águas intersticiais, provavelmente reflete a variabilidade espaço-temporal natural deste parâmetro nos manguezais da lagoa. Já Soares et al. (2012), afirma que a presença de associação entre *A. aureum* como parte dos manguezais em Laguna é uma indicação de que a salinidade na lagoa Santo Antônio é reduzida em determinadas épocas do ano. Ainda, a precipitação e descarga de rios pode gerar gradientes com maiores níveis de água, diminuindo assim sua salinidade em períodos chuvosos (MIRANDA et al., 2002).

Como mencionado anteriormente, as medidas de salinidade foram tomadas com o intuito de caracterização descritiva. Desta forma, não foi feita uma abordagem sistemática. Portanto, deve-se ter parcimônia ao se analisar os resultados obtidos neste estudo. Os dados pontuais de salinidade tomados no dia das amostragens não representam necessariamente o histórico de variação deste parâmetro, embora sejam compatíveis com resultados obtidos anteriormente por outros estudos.

5.2 Caracterização estrutural de marismas

Como demonstrado na seção de resultados, no Sistema Estuarino de Laguna as marismas são as feições dominantes nas áreas entremarés, sendo *S. alterniflora* a espécie mais abundante. Mas há também outras espécies de plantas formadoras de marismas como *S. densiflora*. Bancos monoespecíficos de *S. densiflora* foram registrados, assim como bancos mistos de marismas, compostos por *S. alterniflora* e *S. densiflora*. No Brasil, a 400 km ao norte da região de estudo, observa-se uma paisagem estuarina diferente nos setores de alta energia do que a encontrada em Laguna, na entrada do complexo estuarino da Baía de Paranaguá (PR). Este estuário possui bancos monoespecíficos de *S. alterniflora* formando pequenas franjas em frente aos manguezais (e.g. Florianópolis, NETTO e GALLUCCI, 2003; Paranaguá, BLANKESTEYN, 1994; NETTO, 1993; TARARAM, 1994). Já nas áreas oligohalinas ou a montante dos rios de maré da Baía de Paranaguá, a faixa externa de *S. alterniflora* geralmente está acompanhada por uma faixa interna de *S. densiflora* (LANA, 2003), assim como observado em alguns pontos em Laguna.

Por outro lado, ao sul de Laguna, as marismas ocupam grandes áreas como na lagoa de Tramandaí (RS) (ARTIOLI, 2008), ou no estuário da Lagoa dos Patos (RS) onde chegam a

ocupar cerca de 70km² de áreas entremarés nas margens e nas ilhas da lagoa (MARANGONI, 2008). As avaliações realizadas por Manrangoni e Costa (2009) e Nogueira e Costa (2003) indicam a predominância das espécies *S. alterniflora* e *Scirpus olneyi* (alagadas até 60% do tempo), sobre as marismas média/superiores dominadas por *Scirpus maritimus*, *S. densiflora* e *Juncus kraussii* (alagadas até 25% do tempo), que colonizam 67 km² da área total de marismas.

A altura média das marismas da Lagoa de Santo Antônio (50 a 61 cm) está dentro da faixa de variação descrita para as marismas de Paranaguá, 43 a 104 cm (LANA, 2003; 1991) na estação de crescimento das espécies, que corresponde aos meses de novembro a fevereiro. Netto e Lana (1997) descrevem que, durante o verão, as marismas de *S. alterniflora* da Baía de Paranaguá possuem maior altura próxima ao corpo hídrico e na zona intermediária (70 a 80 cm) e mais baixas próximo ao manguezal. Já durante o inverno a zona próxima ao corpo hídrico obtém as maiores alturas (média de 60 a 70cm). No presente estudo, a altura também demonstra este comportamento de duas maneiras: nos pontos de estudo 4 e 5 a altura média é menor na transição; e no geral a transição é a zona que apresenta maior amplitude de variação de altura, resultado das baixas alturas de parte dos colmos de marisma que estão competindo com árvores de mangue.

Além da variação de altura, à medida que se aproxima do manguezal ocorre redução do percentual de cobertura de vegetação da marisma, que não tolera o sombreamento imposto pelas árvores de mangue (LANA, 2003). Desta forma, é possível verificar efeito da competição com espécies de mangue. Em um estudo realizado, Lana (2003) apontou que em Paranaguá (PR) a taxa de cobertura do solo é sensivelmente superior nas marismas e à medida que se aproxima de manguezais, estas não ocorrem e a cobertura vegetal subaérea é pelas próprias plântulas, pelas macroalgas que crescem sobre os pneumatóforos e pelas microalgas que podem formar películas superficiais no sedimento.

Portanto, apesar da limitada quantidade de informações disponíveis na literatura, é possível verificar que os resultados encontrados em Laguna são compatíveis com os obtidos para outras marismas, especialmente aqueles localizados na mesma faixa latitudinal de Laguna.

5.3 Estrutura de manguezais

As florestas de mangue da lagoa Santo Antônio em Laguna são relativamente homogêneas em termos de desenvolvimento estrutural e composição de espécies, estas são

constituídas principalmente pela espécie *L. racemosa*. A composição florística concorda com a descrição feita por Schaeffer-Novelli et al. (1990) e Soares et al. (2012). Estes autores apontam ainda a presença de *A. schaueriana*, porém, estas apresentam poucos indivíduos esparsos em alguns pontos da lagoa, assim como relatado por este trabalho. Ao norte de Santa Catarina, Santo (2004) caracterizou as formações de manguezais no município de Palhoça com técnicas de sensoriamento remoto (27°38'33"S), e apontou uma área de ocupação mais extensa, 8 milhões de m² e ocorrência de 3 espécies (*R. mangle*, *A. schaueriana* e *L. racemosa*).

Os dados estruturais das árvores de mangue indicam um baixo desenvolvimento, que é demonstrado principalmente pelos baixos valores de $D_{\text{médio}}$, altura média. Os altos valores de densidade de troncos, relação troncos/indivíduo e área basal viva são um reflexo de uma arquitetura extremamente ramificada, típica de florestas de mangue sob condições limítrofes. Essa arquitetura é ainda verificada pela distribuição da área basal entre as classes de D_{meio} , que é concentrada nas classes $\geq 2,5$ cm à $< 2,5$ cm, não havendo troncos com D_{meio} maior que 10 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por Soares et al. (2012) em caracterização preliminar dos manguezais da Lagoa de Santo Antônio. Esses autores encontraram florestas monoespecíficas de *L. racemosa*, com altura média entre $2,6 \pm 0,3$ e $3,3 \pm 0,5$ m, diâmetro a altura do peito (DAP) de 2,3 a 3,1 cm, densidade de 31.200 a 70.400 tr. vivos.ha⁻¹ e área basal de 28,0 a 34,5 m².ha⁻¹.

Ao compararmos os parâmetros estruturais dos manguezais de Laguna, com manguezais da costa litorânea sentido norte, podemos encontrar em Florianópolis (SC) (distância 100 km) árvores mais desenvolvidas com altura média entre 3,0 e 7,8 m e DAP de 6,8 a 12,4 cm (OLIVEIRA e TOGNELLA, 2014). Na região Sudeste do país, existem vários estudos publicados para os manguezais do Rio de Janeiro, (ESTRADA et al., 2013; MENGHINI, 2004; SILVA et al., 2005; SOARES, 1999; SOARES et al., 2005; SOUZA et al., 2016) que indicam florestas de mangue mais desenvolvidas (Tabela 18). Porém, ainda no Rio de Janeiro, é possível encontrar comportamento semelhante das espécies de mangue frente a condições estressantes. Soares et al. (2017) documentaram florestas de manguezais em transição com apicuns, com uma arquitetura extremamente ramificada e altas densidades de tronco (máx. 106.667 troncos vivos ha⁻¹). Esse porte arbustivo é resultado da alta salinidade da água intersticial local e baixa disponibilidade de nutrientes (ESTRADA et al., 2013). Além disso, a distribuição horizontal das diferentes espécies vegetais ocorrentes em regiões estuarinas pode ser fortemente afetada por interações competitivas (BERTNESS, 1991).

De acordo com Schaeffer-Novelli (1995), a costa sul do Brasil contém apenas 5% da área total de manguezais do país e sua floresta é formada por árvores menores que 10 metros

de altura e menos diversificada que os manguezais do norte e nordeste brasileiro. Tal afirmação já foi reportada na literatura (MENEZES et al., 2008; PELLEGRINI et al.; 2009; SOARES et al., 2008; SOUZA e SAMPAIO, 2001), para os estados Bahia, Pernambuco e Pará, tais autores indicam que à medida que estes manguezais se distribuem para a costa nordeste e norte, apresentam desenvolvimento estrutural maiores e com composição de espécies mais diversa.

Os resultados obtidos neste estudo também são compatíveis com outros estudos realizados em manguezais localizados em limite latitudinal em escala global (Tabela 18), onde o desenvolvimento estrutural das florestas é tipicamente reduzido com altura média baixa e arquitetura arbustiva e ramificada (e.g., ARMITAGE et al., 2015; STEVENS et al., 2006).

Entretanto, com relação à composição de espécies, é possível analisar nestes trabalhos citados que os limites latitudinais geralmente estão associados em sua maioria com o gênero *Avicenia* sp. (*A. germinans* e *A. marina*) e a espécie *R. mangle* (Tabela 18), gênero que no Brasil têm os seus limites de distribuição do sul em Macaé/RJ (*A. germinans*) (22° 21'S) (MACIEL e SOFFIATI-NETTO, 1998), em Laguna (*A. schaueriana*) (SHAEFFER NOVELLI et al., 20016; SOARES et al.; 2012) e *A. marina* não ocorre no Brasil. Já a espécie *R. mangle* se distribui até Palhoça/SC (*R. mangle*) (27° 53'S) (SCHAEFFER-NOVELLI et al., 1990). A diferença apontada em Laguna para outras regiões de ocorrência de manguezais em seu limite latitudinal de distribuição, é a presença de *A. Schaueriana* e *L. Racemosa*.

No que diz respeito a expansão de território, *L. racemosa* pode ser considerada uma espécie pioneira em um possível processo de expansão de manguezais sobre marismas em Laguna, pois cresce sobre uma grande variedade de condições e geralmente domina os primeiros estágios de sucessão (FROMARD et al., 2004; PROISY et al., 2000;) devido sua alta capacidade de dispersão, alta tolerância à salinidade e poluentes (DUKE et al., 1999). Além disso, é intolerante a sombra e prefere locais onde as inundações pelas marés são menos frequentes e intensas (JIMENEZ et al., 1985), por isso geralmente são encontradas nas áreas de maior elevação da zona de *S. alterniflora* (PATTERSON et al., 1993).

Tabela 18 – Estrutura, fisionomia e composição de espécies das florestas de mangue na costa brasileira e em seus limites latitudinais globais

| Brasil | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------|--|-----------------|-------------------------------|
| Latitude | Local | DAP Médio (cm) | Altura média | Densidade | Espécies | Fonte |
| 27°39'S | Florianópolis (SC) | 6,8 a 12,4 | 3,90 a 7,80 | 1,175 a 3,375 arvores.ha ⁻¹ | AS, RM, LR | Oliveira e Tognella, 2014 |
| 26°18'S | São Francisco do Sul (SC) | 3,0 a 17,0 | 2,00 a 7,00 | 1,000 a 21,000 troncos vivos.ha ⁻¹ | AS, RM, LR | Cunha et al., 2006 |
| 23°02'S | Rio de Janeiro (RJ) | 1,6 a 9,5 | 0,50 a 8,00 | 2,733 a 106,667 troncos vivos.ha ⁻¹ | AS, RM, LR | Soares et al., 2017 |
| 17°48'S | Caravelas (BA) | 1,5 a 24,1 | 1,10 a 13,90 | 3619 a 102,500 troncos vivos.ha ⁻¹ | AS, RM, LR | Soares et al., 2008 |
| 13°27'S | Valença (BA) | 1,6 a 29,9 | 1,90 a 18,17 | 174 a 22,00 troncos vivos.ha ⁻¹ | AS, RM, LR | Pelegrini et al., 2009 |
| 8°20'S | Ipojica (PE) | 1,7 a 22,4 | 1,90 a 16,30 | 917 a 11,850 arvores.ha ⁻¹ | AS, AG, RM, LR | Souza e Sampaio 2001 |
| 0°38'S | Marapanim (PA) | 24,1 a 26,9 | 13,40 a 16,70 | 140 a 516 arvores.ha ⁻¹ | AG, RM, LR | Sales et al., 2009 |
| Limite latitudinal global | | | | | | |
| 32°23'N | Ilhas Bermuda | ≥ 36,0 | 3,0 a 11,0 | 5,846 ± 4,6 arvores.ha ⁻¹ | AG, RM | Thomas, 1993 |
| 29°08'N | Flórida (USA) | - | 0,50 a 2,50 | - | AG, RM, LR | Stevens et al. 2006 |
| 27°50'N | Texas (USA) | - | 1,3 | - | AG | Everitt et al. 1996 |
| 27°12'N | Ilha Abou mingar (Egito) | - | 4,3 | ≥ 400 arvores.ha ⁻¹ | AM | Saleh, 2007 |
| 26°11'N | Ilha Okinawa (Japão) | 3,6 ± 0,1 ^a | 3,10 ± 0,0 ^a | 25,600 troncos.ha ⁻¹ | RS | Suwa e Hagihara, 2008 |
| 19°23'N | Lagoa Timiris (Mauritana) | - | 1,30 ± 0,1 ^a | - | - | Dahdouh-Guebas e Koedam, 2001 |
| 14°10'N | Estuário do rio Saloum | - | <1,00 | - | AA, RR, RM | Diop et al. 1997 |
| 12°20'S | Baía Lobito (Angola) | - | <1,00 | - | AG, LR, RM | UNEP, 2007 |
| 26°07'S | Ilha Inhaca (Moçambique) | 6,4 ± 7,3 ^a | 2,20 ± 1,5 ^a | 6047 arvores.ha ⁻¹ | AM, CT, BC, RMU | De Boer, 2000 |
| 28°28'S | Laguna (Brasil) | 2,3 a 3,1 | 2,60 ± 0,3 ^a | 31,200 a 70,400 troncos.ha ⁻¹ | LR e AS | Soares et al., 2012 |
| 32°41'S | Cabo Oriental (África do Sul) | - | 1,00 a 2,00 | 5 a 2594 arvores.ha ⁻¹ | AM | Adams et al., 2004 |
| 33°17'S | Bunbury (Austrália) | 1,0 a 30,0 | 1,00 a 4,00 | - | AM | Semeniuk et al., 2000 |
| 38°45'S | Victória (Austrália) | - | 0,50 a 0,80 | - | AM | Bridgewater e Cresswell, 1999 |
| 36°43'S | Whangapoua (Nova Zelandia) | - | 0,50 a 3,00 | 836 arvores.ha ⁻¹ | AM | Lovelock et al., 2007 |
| 36°56'S | Waikopua (Nova Zelandia) | - | 0,50 a 3,00 | 16,672 arvores.ha ⁻¹ | AM | Lovelock et al., 2007 |
| 36°48'S | Auckland (Nova Zelandia) | - | 1,00 a 4,00 | - | AM | Woofroffe, 1985 |

Legenda: Significado das siglas das espécies de mangue: AA= *Avicennia africana*, AG= *Avicenniagerminans*, AM= *Avicennia marina*, AS= *Avicenniaschauerianna*, BC= *Bruguieracylindrica*, CT= *Cerriopstagal*, LR= *Laguncularia racemosa*, RM= *Rhizophora mangle*, RMU= *Rhizophora mucronata*, RR= *Rhizophora racemosa*, RS= *Rhizophora stylosa*.

Fonte: Modificado de Soares et al. (2012).

Stevens et al. (2006) reportou numerosos “aglomerados” de manguezais de baixa estatura sob marismas em seus limites de distribuição latitudinal em ilhas na Flórida (EUA). Tais aglomerados resultam de uma ou duas árvores com muitas ramificações que desenvolveram um amplo dossel. Neste estudo a relação de troncos por indivíduos foi maior na transição com 3,52 e menos no interior de manguezais com 3,00, sendo um indicador de alto estresse ambiental. Ao comparar esse parâmetro com as árvores de mangue de Florianópolis, esta relação se mantém próxima a 1 em todas as parcelas analisadas por Oliveira e Tognella (2014), indicando um baixo estresse ambiental. Para Shaeffer-Novelli e Citrón-Molero (1986), árvores de mangue que crescem sob condições adequadas, têm uma relação de troncos por indivíduo próximo a 1 e sob condições menos favoráveis aumentam o número de ramificações por indivíduos. Entretanto, o baixo percentual de área basal morta indica que estas florestas apresentam elevado grau de conservação, por isso, seu baixo desenvolvimento estrutural se deve à condição climática limítrofe onde ocorre. Para florestas em seu limite latitudinal, espera-se que a ocorrência de baixas temperaturas e / ou geadas seja o principal fator limitativo para o crescimento (SOARES et al., 2012).

Os resultados indicam maior desenvolvimento estrutural na parte interna dos manguezais em comparação com a transição com a marisma. Esse padrão de variação estrutural pode indicar o efeito de gradientes edáficos ou alguma alteração ambiental que tenha desencadeado a expansão gradativa de manguezais sobre as marismas, fazendo com que as áreas mais internas sejam mais antigas e desenvolvidas, ao passo que as mais externas sejam mais jovens e menos desenvolvidas. Como demonstrado anteriormente, as florestas de manguezal são muito pouco extensas para se considerar a possibilidade de que algum gradiente edáfico possa explicar diferenças significativas de desenvolvimento estrutural, tornando essa hipótese pouco plausível. Por outro lado, a presença de plântulas e jovens de *L. racemosa* nas parcelas de marismas (M e Mi), ainda que somente no ponto de estudos 1, evidencia uma possível fase inicial de processo de expansão das espécies de mangue sobre o banco de marisma na lagoa de Santo Antônio.

É possível encontrar estudos na literatura que apontam expansão de manguezais sob marismas em respostas à elevação do nível médio relativo do mar (NMRM), como exemplo tem trabalhos de Armitage et al. (2015) que quantificou que os manguezais de toda a costa do Texas (EUA) avançaram 16,1 km² sob as marismas, um aumento de 74% de sua área, ao mesmo tempo em que a marisma sofreu uma perda de 24%, este estudo confirma que o manguezal este expandindo sob a marisma devido à elevação do NMRM. Além disso, outros atores (KRAUSS

et al., 2011) atribuíram a elevação do NMRM como responsável pela expansão de manguezais sob marismas na costa da Flórida (EUA).

Entretanto, em Laguna não é plausível considerar que a elevação do NMRM possa dar início à um processo de expansão de manguezais sobre marismas, pois não foi observado neste estudo diferenças relevantes de salinidade para manguezais e marismas, o que indica que não são as condições locais (edáficas) que controlam a distribuição atual destes ecossistemas. Portanto, a hipótese de explicação do padrão observado não deve ser explicada por variação do NMRM.

Outras duas hipóteses que poderiam explicar o padrão de variação espacial do desenvolvimento estrutural a partir de processo de sucessão são:

- a) Processos de dinâmica sedimentar na laguna de Santo Antônio, que proporcionariam a formação de bancos lamosos, os quais seriam primeiro colonizados pelas espécies de marisma, que estabilizariam os bancos e facilitariam a posterior colonização por espécies de mangue (LANA 2003; NETTO e GALLUCCI, 2003). Embora esta hipótese não possa ser descartada *a priori*, o fato de evidências de um processo de expansão de manguezais sobre marismas serem observadas em vários pontos da laguna, seja em pequenas ou grande ilhas, seja em áreas internas a franjas continentais, indica que esta não é a explicação mais plausível. Contudo, somente estudos mais aprofundados envolvendo análises de sensoriamento remoto e/ou análise de testemunhos sedimentares poderia efetivamente permitir a avaliação do possível papel deste fator sobre o padrão de variação estrutural observado para os manguezais de Laguna.
- b) Processo de elevação da temperatura do ar, favorecendo a expansão gradativa das espécies de mangue sobre as de marisma, que, como já descrito anteriormente, não são capazes de se sobrepor competitivamente em condições climáticas favoráveis às espécies de mangue. Esse processo seria desencadeado, possivelmente, por janelas ambientais favoráveis, ou seja, quando as condições ambientais são excepcionalmente mais amenas, favorecendo o recrutamento e o estabelecimento de plântulas de mangue mesmo em área densamente ocupada por colmos de marisma. Em relação à expansão de manguezais em reposta à elevação de temperatura do ar, é possível apontar trabalhos que indicam esta interação. Perry e Mendelson (2009) e Stevens et al., (2006) estudaram os manguezais na costa da Flórida,

e constataram que após uma morte em massa de manguezais na década de 80 devido a um evento de congelamento, estes voltaram a dominar a área após uma década de invernos mais amenos, excluindo as marismas, estes autores indicam taxas de expansão de 300 a 862 m².ano⁻¹. Sampaio et al. (2008) indicaram que as marismas nos estados de Louisiana, Texas e partes da Flórida são especialmente sensíveis às mudanças climáticas no inverno devido à sua proximidade com o limiar do clima de inverno que diferencia a floresta de mangue e a dominância de marisma. Por exemplo, com um aumento de 0°C a 2°C na temperatura mínima anual média em relação ao clima moderno, aproximadamente 740 km² (7%) de marisma nesses três estados provavelmente se tornariam suscetíveis à expansão de manguezais, e com um aumento de 2°C a 4°C, aproximadamente 9.860 km² (93%) dos três estados provavelmente se tornariam suscetíveis à expansão de manguezais. Nesse contexto, Stevens et al., (2006) documentaram que o recrutamento de plântulas em ilhas na Flórida (29°08'N) foi maior em torno dos grupos de manguezais e diminuído com a distância; essa expansão ocorreu até 15 m dos manguezais para as áreas de marisma e foi tão alto quanto 76 mudas m⁻² ano⁻¹. Em um experimento, Patterson et al., (1993) observou que plântulas de *A. germinans* exibiram aumento significativo na altura e no diâmetro, com taxas de altura 0,77, 0,60 e 0,61 cm/semana em zonas de transição com marismas. Para Stevens et al., (2006), na ausência de grandes períodos de temperatura fria na Flórida, o intervalo de tempo para a completa colonização de manguezais sob marisma será de 862 m².ano⁻¹.

Um parâmetro estrutural a ser destacado em relação ao desenvolvimento da floresta é a densidade. Na hipótese da transição ser mais jovem que o interior, a maior densidade observada nesta zona (apesar da diferença não ser significativa de acordo com o teste aplicado) só pode ser explicada pelo fato da transição ainda estar na fase de desenvolvimento inicial e, por isso não ter atingido a máxima densidade, ou a ocupação ótima do espaço disponível. Segundo Schaeffer-Novelli e Cintrón-Molero (1986), a densidade é função de sua idade e amadurecimento. Florestas jovens possuem grande densidade de árvores de diâmetros reduzidos. A densidade se reduz com o amadurecimento da floresta, sendo esse processo mais evidente nas fases iniciais do desenvolvimento, em função da competição por espaço de copas e raízes, processo chamado de desbaste natural.

O modelo de desbaste natural foi proposto por Jimenez et al. (1985) e descreve o amadurecimento/desenvolvimento de florestas de mangue em quatro fases: colonização, desenvolvimento inicial, maturidade e senescência. A fase de colonização inicia após a fixação e estabelecimento propágulos de mangue. Nessa fase, a ampla disponibilidade de espaço e recursos permite uma rápida ocupação do espaço em ritmo exponencial. Na segunda fase, o desenvolvimento inicial é marcado por uma alta densidade de jovens, e conseqüentemente por forte competição por recursos e espaço. Durante esse processo, os indivíduos mais aptos e que atingiram primeiro o dossel permanecem crescendo ao passo que os menos aptos, que não ocuparam o dossel, vão sendo excluídos por competição, num processo de desbaste natural que resulta em redução gradativa da densidade e aumento de diâmetro e altura. A maturidade é atingida quando a taxa de crescimento das árvores diminui. Durante esta fase, a competição por espaço é reduzida e a mortalidade pode ser principalmente devido à morte de indivíduos reprimidos ou de recrutamento tardio. Nesse ponto, a floresta atinge o máximo desenvolvimento permitido pela assinatura energética do local e assume uma estrutura estável, até que os indivíduos maduros dominantes comecem a morrer por senescência, levando à abertura de clareiras e reinício ou retrocesso da sucessão da floresta.

5.4 Dendrocronologia

Ao analisar os anéis de crescimento da espécie *L. racemosa* em seu limite de distribuição latitudinal do Atlântico Sul, em Laguna, pode-se observar que a mesma possui potencial dendrocronológico, como reportado por Estrada et al. (2008) no Rio de Janeiro, Brasil. Embora a correlação para o tipo fisiográfico de transição não seja significativa, quando analisados todos os 35 indivíduos amostrados (transição + interior) a correlação obtida é de 0,36, aceitável para o spline de utilizado 40 ($r=0,36$). Desse modo, a transição não figura como melhor escolha para análise dendrocronológica para indivíduos de *L. racemosa* na região. Porém, o COFECHA é um programa que auxilia a datação cruzada, mas não elimina a datação visual (GRISSINO, 2001).

Estrada et al. (2008) confirmou a natureza periódica dos anéis de crescimento em *L. racemosa* ao testar a correlação de árvores com idades conhecidas em Guaratiba (RJ), estes autores descreveram as características anatômicas destes anéis com camadas alternadas de marrom claro e marrom escuro. Para as árvores de Guaratiba, as camadas claras provavelmente

foram formadas em uma estação mais favorável (entre primavera e outono) e consistem em camadas de parênquima paratraqueal axial abundante, formando o lenho inicial. Enquanto o lenho tardio é representado por camadas escuras mais estreitas, correspondentes às zonas fibrosas com parênquima paratraqueal axial escasso. Gebrekirsto et al. (2014) reforça que a presença de anéis de crescimento anuais anatomicamente distintos é o pré-requisito para o desenvolvimento de cronologias de largura de anel corretamente datadas. A formação de limites de crescimento distintos requer períodos com condições ambientais limitantes de crescimento, que induzem paradas de crescimento em árvores.

Nas amostras de *L. racemosa* deste estudo, as camadas claras de parênquima paratraqueal axial não são tão nítidas. Os anéis analisados apresentaram um grande número de irregularidades e não são perfeitamente concêntricos, possivelmente em virtude da reação do lenho regido sob o estresse latitudinal, ou seja, com temperatura média abaixo das regiões tropicais. De modo geral, os anéis de crescimento das angiospermas podem destacar-se por diferentes padrões de características anatômicas na madeira, proporcionando-lhes uma maior complexidade e variação na formação das camadas de crescimento (BOTOSSO e MATTOS, 2002). Para Yáñez-Espinosa et al. (2014) a tensão da madeira se desenvolve como um mecanismo para corrigir a inclinação dos troncos de *L. racemosa* que é altamente suscetível em locais onde as árvores têm menos estabilidade, espalhando-se horizontalmente.

Desse modo, as árvores de *L. racemosa* apresentam uma arquitetura arbustiva, com alta densidade de troncos, o que dificulta a amostragem pelo fato do diâmetro ser formado próximo à base. Em função do limite latitudinal e dos períodos pouco definidos para as geadas, há uma aparente baixa sazonalidade climática, com estações pouco demarcadas (INMET, 2018). A baixa sazonalidade climática pode tornar a visibilidade menos aparente, considerando a necessidade de períodos marcados para formação do lenho tardio.

Além da correlação ser significativa no interior, contrário à transição, é possível analisar neste estudo que a tendência observada de sensibilidade é maior no interior em comparação com a transição. Na transição dos manguezais ocorre um efeito de interações interespecíficas com a marisma e ações do próprio efeito de borda. Como as zonas são muito próximas em todos os pontos de estudo, não é possível apontar uma explicação ambiental para descrever esse comportamento, como apontado por Souza et al. (2016) ao observar o avanço de manguezais sob planícies hipersalinas, em Guaratiba (RJ) na comparação entre as zonas fisiográficas de bacia e transição. Uma possível explicação é o efeito da competição entre as árvores de transição e as plantas de marisma, resultando em uma influência sobre o crescimento das plantas que não está relacionada às variações ambientais, aumentando o “ruído nos anéis”.

As diferenças significativas dos resultados estatísticos apresentados neste estudo para cronologia, idades, $D_{\text{médio}}$, e o histograma de distribuição para as classes de idade, corroboram a hipótese inicial de que as transições além de serem menos desenvolvidas que o interior dos manguezais, são mais jovens. Um dos indícios desta afirmação é o histograma por classes etárias, onde as árvores mais antigas estão presentes nas zonas de interior de manguezais. De acordo com Franklin et al. (2002) árvores em estágios mais desenvolvidos, geralmente acima de 30 anos possuem uma condição de acúmulo de biomassa e exclusão competitiva, o que reforça seu amadurecimento em relação à zona de transição com árvores de idade máxima de 24 anos. Assim, tem-se uma evidência de que, provavelmente, as manchas de manguezais em Laguna iniciaram sua colonização a partir do ano de 1979 de acordo com o registro da maior cronologia observada, na zona de interior e estão gradativamente se expandindo.

Além do parâmetro etário, o padrão de predomínio de classes iniciais de diâmetros nas florestas de transição foram observados em Guaratiba (RJ), onde a transição apresenta estágio inicial de desenvolvimento (ESTRADA, 2009) em relação a outros tipos fisiográficos como bacia e franja. Já Souza et al. (2016) ao comparar os tipos fisiográficos encontrou árvores mais desenvolvidas na bacia com idades entre 27 a 33 anos e, na transição, a árvore mais antiga atingiu idade máxima de 13 anos. Os mesmos autores sugeriram que algum evento de relevante impacto tenha beneficiado um pulso de colonização do manguezal. Embora as evidências de que os manguezais de Laguna estão em processo de expansão sob as marismas, esse processo de expansão parece ser lento, tendo em vista que as florestas de manguezal com evidência de processo de expansão tem extensão reduzida.

Stevens et al. (2006) apontou que a expansão de manguezais sobre marismas em ilhas no estado da Flórida (EUA) ($29^{\circ}08'N$) corresponde de 300 a $862 \text{ m}^2\text{ano}^{-1}$ e entre o período de 1995 a cobertura de copas de árvores de mangue era de 3 a 33%, já em 1999 essa mesma área representava 23 a 59% sob marismas. Já Armitage et al. (2015) revela que no período de vinte anos, de 1990 a 2010, não houve substituição em larga escala de marismas por manguezais ao longo da costa do Texas. Os mesmos autores relatam que os limites entre estes dois ecossistemas flutuam em resposta às condições ambientais, pois os manguezais, sensíveis ao frio, morrem durante os eventos de congelamento e se expandem durante os períodos de calor, gerando ecótonos dinâmicos. Para Saintilian et al. (2014), a cobertura de *A. germinans* aumentou de 57 ha em 1986 para 1182 ha em 2006 em Louisiana (EUA).

Entretanto, Sampaio et al. (2008) assumem que as florestas de mangue poderão migrar com relativa rapidez em resposta às mudanças climáticas no inverno em comparação com espécies de plantas terrestres, pois plantas dispersas em água são frequentemente capazes de

percorrer distâncias mais longas do que plantas que são dispersas pelo vento ou por animais, e muitas espécies de manguezais produzem propágulos tolerantes a sal dispersos em água que flutuam e são viáveis por longos períodos (TOMLINSON, 1986). Entretanto, Zhang et al. (2012) descreveu um comportamento diferente no estuário do rio Zhangjiang, regiões subtropicais no sul da China, onde *S. alterniflora* ocorre dentro de florestas de mangue com copas abertas e em áreas perturbadas. Estes autores sugerem que *S. alterniflora* limitará a colonização de manguezais dessas áreas dentro da floresta, suprimindo o crescimento de mudas de manguezais, auxiliada pela perturbação humana ocorrente nos manguezais da região. Nesse contexto, a arquitetura destas formações de manguezais difere dos manguezais de Laguna, com formações de árvores densas e bem ramificadas impedindo a atenuação de luz no sedimento.

5.5 Dendroclimatologia

Os dados de anomalia de temperatura indicam tendência de elevação ao longo das últimas décadas, resultando no aumento da temperatura média anual da região. Tais resultados corroboram com o estudo publicado por Campos et al. (2006), no qual analisaram a distribuição diária da temperatura média do ar e da precipitação em estações meteorológicas monitoradas pela EPAGRI/CIRAM em Santa Catarina e confirmaram, de modo similar às tendências globais, aumento da temperatura média do ar e forte aquecimento da temperatura mínima e a diminuição da amplitude térmica para o estado e para a região sul brasileira. Além disso, verificaram alterações em padrões de precipitação com tendência de aumento dos totais mensais e ao longo dos anos. Por meio da regressão linear foi possível confirmar a tendência do aumento da temperatura neste estudo, o que reforça a hipótese de que a expansão dos manguezais sobre as marismas se deve a este fator.

Considerando ainda os dados de anomalia de temperatura obtidos no presente estudo, pode-se observar que entre os anos de 1997 a 1998 a anomalia média de temperatura do ar foi negativa. Esses anos correspondem a um período atípico, o maior El Niño mundial. Apesar dos efeitos mais fortes ocorrerem em geral em países banhados pelo Pacífico, o Brasil também foi afetado de maneira agressiva pelo El Niño referente a esse período. Na região Sul, as características mais marcantes foram aumento anormal de chuvas na região (INMET, 2018). Ainda neste contexto, Molion (2006) apontam que os efeitos do EL Niño foram mais intensos entre 1977 e 1998, o que pode ter contribuído, em parte, para a elevação da temperatura média

global em 0,8 °C nos anos que sucederam esse evento. Na região litorânea de Santa Catarina, Dias et al. (2009) fizeram uma associação da mudança no comportamento da temperatura e da chuva com a variabilidade climática interdecadal e constataram um aumento significativo da temperatura do ar e da chuva anual no período de 1950 a 2000, ainda, observaram uma mudança nas anomalias, de negativas para positivas. Em meados da década de 1970, os pesquisadores também associaram este comportamento à fenômenos como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* - PDO).

Entretanto, a baixa precisão das cronologias pode ter prejudicado a comparação das possíveis correlações entre as tendências de variação de anomalias de temperatura do ar com o desenvolvimento dos anéis anuais de crescimento.

Em relação à alternância entre os ecossistemas de marismas e manguezais em decorrência das oscilações climáticas é possível verificar na literatura estudos que indiquem tal comportamento, como foi reportado por Stevens et al. (2016) no Sul do estado da Flórida (EUA), na década de 1980, onde florestas inteiras de *A. germinans* morreram em decorrência de invernos rigorosos. Após o congelamento, as marismas de *S. alterniflora* revegetaram a região, no entanto, depois de uma década de invernos amenos, as árvores de mangue dominaram a área. Os mesmos autores citam que os mecanismos de expansão variaram de propagação, dispersão generalizada e crescimento de propágulos existentes ou recém-importados. Osland et al. (2013) utilizaram modelos de distribuição e abundância relativa de espécies de manguezais e análises do efeito de cenários futuros de clima de inverno no sudeste dos EUA e especialmente na Louisiana, Texas e Flórida, e identificaram que mudanças relativamente pequenas no clima de inverno podem resultar em uma extensão de mangue significativa sob marismas. O aumento de 2 a 4 ° C na temperatura mínima média anual levaria a uma redução de 95% de marisma em Louisiana, redução de 100% no Texas e redução de 60% na Flórida. Já, Zhang et al. (2012) analisaram a colonização de *S. alterniflora* introduzida no sul da China em 1979 para reduzir a erosão costeira, esta espécie cresceu vigorosamente e invadiu os manguezais nativos. Porém, *S. alterniflora* estabeleceu-se somente em zonas de manguezais, com dossel aberto provocado por perturbação de origem antrópica.

Jimenez et al. 1985 ao analisar vinte e oito relatórios mundiais de mortandade maciça de árvores de mangue que ocorreram em resposta a mudanças ambientais drásticas destacaram que, apesar de árvores com diferentes diâmetros serem afetadas, a mortalidade geralmente ocorre nas classes de tamanho de diâmetro menor. Tais mudanças estavam em sua maioria relacionadas à eventos de congelamento, porém quando o clima tornou novamente favorável para o desenvolvimento e estabelecimento das árvores de mangue estas voltaram a dominar os

locais de ocorrência. Entretanto, tal comportamento não foi observado em nenhuma das áreas estudadas e vistoriadas em Laguna, pois se alguma alternância deste tipo estivesse ocorrendo haveriam evidências registradas, como exemplo: troncos mortos sob o banco de marismas ou troncos de árvores que com sinais de embolia no tronco (EWERS et al., 2004), ou até mesmo presença de perturbação antrópica (ZHANG et al., 2012).

Nesse contexto, Osland et al. (2016) ao revisar estudos com manguezais e seus limites climáticos em diferentes regiões do mundo, apontaram que a temperatura do ar no inverno desempenha um importante papel ecológico, além disso, a mortalidade e/ou dano de manguezais também podem ser induzidos por condições hipersalinas e regimes de precipitação (Tabela 19). No entanto, estes autores enfatizam que a dispersão e as restrições de disponibilidade de habitat podem dificultar a expansão perto de certos limites de alcance, como é o caso de Laguna, que possui correntes de deriva litorânea com sentido norte e, ao sul, o litoral é caracterizado por lagunas costeiras com conexão restrita com o mar. No leste da Austrália, o limite sul dos manguezais também é limitado por dispersão, uma vez que as correntes de leste, através do Estreito de Bass, impedem que os propágulos atinjam a Tasmânia (SAINTILAN et al., 2014).

Tabela 19 – Estudos revisados por Osland et al. (2016) indicando a região mundial e os fatores climáticos que regem a distribuição do ecossistema manguezal (continua)

| Local | Fator climático | Fonte |
|---------------------------|---------------------------------|---|
| Leste da América do Norte | Temperatura mínima | West (1977); Osland et al., (2013); Cavanaugh et al., (2014) |
| Golfo Ocidental do México | Precipitação/Temperatura mínima | Lot-Helgueras et al., (1975); Montagna et al., (2011); Osland et al., (2016) |
| Oeste da América do Norte | Precipitação/Temperatura mínima | Felger et al., (2001), Turner et al., (2005) |
| Oeste da América do Sul | Precipitação/DeH | West (1977); Woodroffe e Grindrod (1991); Saintilan et al., (2014) |
| Leste da América do Sul | Temperatura mínima/DeH | Schaeffer-Novelli et al., (1990); Soares et al., (2012); Ximenes et al., (2016) |
| Noroeste da África | Precipitação | Woodroffe e Grindrod (1991); Saenger (2002); Spalding et al., (2010) |
| África central ocidental | Precipitação | Woodroffe e Grindrod (1991); Saenger (2002); Spalding et al., (2010) |
| Sudeste da África | Temperatura mínima/DeH | Macnae (1963); Saenger (2002); Quisthoudt et al., (2012) |
| África central oriental | Precipitação | Saenger (2002); Spalding et al., (2010) |
| Oriente Médio | Precipitação/Temperatura mínima | Saenger (2002); Spalding et al., (2010) |
| Ásia Oriental | Temperatura mínima | Chen et al., (2010), Wang et al., (2011) |
| Nova Zelândia | Temperatura mínima | Woodroffe e Grindrod (1991); Morrissey et al., (2010) |

Tabela 19 – Estudos revisados por Osland et al. (2016) indicando a região mundial e os fatores climáticos que regem a distribuição do ecossistema manguezal (conclusão)

| Local | Fator climático | Fonte |
|---------------------|-------------------------------------|--|
| Austrália Oriental | Temperatura mínima/DeH | Saenger (2002); Duke (2006); Stuart et al., (2007); Saintilan et al., (2014) |
| Austrália Ocidental | Precipitação/Temperatura mínima/DeH | Saenger (2002); Duke (2006); Semeniuk (2013) |

Legenda: Na coluna do fator climático, “DeH” indica que as restrições de dispersão e/ou a falta de habitat potencial também devem influenciar as distribuições de manguezais perto desse limite de alcance.

Fonte: Modificado de Osland et al. (2016).

Em Laguna, foi observado que a temperatura demonstra ser um fator relevante para a fisiologia das plantas de mangue e, portanto, para sua dinâmica de colonização, haja vista as correlações estabelecidas com as cronologias da *L. racemosa*.

Neste estudo, ao analisar as correlações entre a cronologia da transição e as anomalias de temperaturas mensais, é possível observar que no mês de março a correlação foi negativa, indicando relação inversamente proporcional. Ou seja, que em meses de março anormalmente quentes as árvores na transição tendem a crescer menos do que o normal, e vice-versa. Possivelmente, durante o mês de março, caracterizado como a transição entre verão e outono, a temperatura esteja no estado ótimo para crescimento e dispersão, então anos anormalmente quentes possam fazer com que as plantas transpirem demais, podendo gerar maior estresse hídrico/salino.

Costa et al. (2015) observou tendência significativa de aumento na temperatura mínima absoluta mensal no mês de março para cidade de Lages, região serrana de Santa Catarina, distante cerca de 250 km de Laguna. Entretanto, Monteiro 2001, observou que no início do outono são observadas as primeiras incursões de massas polares, ainda fracas, que provocam queda de temperatura em episódios de bloqueios atmosféricos, as frentes frias são impedidas de se deslocarem pelo Estado, diminuindo o volume de chuvas e o consequente estabelecimento de massas de ar seco e mais aquecido. Nestas condições, as temperaturas sobem rapidamente, podendo ser registrados valores acima de 30 graus na maioria das regiões. Esta situação, segundo Fuentes (1997), pode durar até um mês, caracterizando períodos denominados de "veranico".

Já outubro, está inserido no mês intermediário da primavera, a estação mais instável do ano. Tal instabilidade é ocasionada principalmente pelos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), fenômenos que atingem Santa Catarina, favorecendo a ocorrência de pancadas de chuva forte com trovoadas e granizo isolado (MONTEIRO, 2001), Os CCMs são mais comuns nos meses de setembro e outubro, segundo Figueired e Scoabar (1996).

CONCLUSÃO

Em Laguna, o ecossistema dominante é a marisma, porém, como foi observado há evidências que as florestas de manguezais estão em um processo de expansão local sobre estas, tais evidências consistem em:

- a) As zonas fisiográficas de transição Marisma/Manguezal demonstram desenvolvimento estrutural menor que a zona de interior de manguezais. As transições apresentam formações de árvores com arquitetura mais ramificada que o interior, ou seja, a relação tronco/indivíduo é maior nessa zona. Além disso, as árvores da transição apresentam menor altura, menor D_{meio} , menor área basal e maiores valores de densidade em relação ao interior, indicando um padrão típico de estágios iniciais de sucessão.
- b) A formação das florestas de mangue em Laguna sob os extensos bancos de marismas ocorreu há aproximadamente 36 anos, e de acordo com a caracterização etária o tipo fisiográfico de transição é cerca de 12 anos mais jovem do que o interior dos manguezais.
- c) Os resultados confirmaram uma tendência de elevação de anomalias positivas de temperatura do ar nas últimas décadas. Essa elevação consta como um fator relevante na zonação das florestas de mangue.
- d) Foram observadas algumas evidências de correlação entre largura de anéis de crescimento e anomalias positivas de temperatura do ar, apesar da precisão limitada das cronologias, reforçando hipótese de que a expansão dos manguezais sobre as marismas se deve a este fator.
- e) Presença de colonização de plântulas e jovens de *L. racemosa* sob bancos de *S. alterniflora*.

Os resultados obtidos auxiliam na compreensão dos processos naturais de expansão de florestas de mangue em escala local. Ainda, este estudo conta com a utilização de forma inédita da dendrocronologia na compreensão dos processos ecológicos recentes envolvidos na resposta do manguezal em seu limite latitudinal de espécies de mangue no Atlântico Sul.

A baixa, porém, aceitável precisão das cronologias confere maior incerteza às conclusões obtidas neste estudo. Essa imprecisão está associada à natureza dos anéis indistintos de *L. racemosa* somada à forma de crescimento dos troncos (muito retorcido), o que induz

formação de lenhos de reação e, por consequência, interferência nos anéis de crescimento não relacionada a fatores externos, como o clima. O aumento do n amostral poderia diminuir esta incerteza, entretanto, poderia tornar o trabalho inviável.

Por fim, faz-se necessário estudos que possam corroborar adicionalmente às conclusões aqui obtidas e excluir outras hipóteses não relacionadas às mudanças climáticas. Pode-se citar estudos envolvendo processos naturais de dinâmica sedimentar; análise multi-temporal por sensoriamento remoto, para verificar o processo de expansão em larga escala no sistema lagunar; análise de testemunhos sedimentares, para avaliar, através de indicadores geológicos, biológicos e geoquímicos se essa dinâmica de expansão e retração de marismas e manguezais têm ocorrido ao longo do Holoceno em resposta a variações climáticas.

REFERÊNCIAS

- ADAM, P. *Saltmarsh ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- ADAMS, J. B. et al. The distribution and state of mangroves along the coast of Transkei, Eastern Cape Province, south Africa. *Wetlands Ecology and Management*, v. 12, p.531-541. 2004
- ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, v. 29, n. 3, p. 331-349, 2002.
- ALONGI, D. M. The Impact of Climate Change on Mangrove Forests. *Currente Clima Change Rep.*, v. 1, p. 30-39, 2015.
- ALONGI, D. M.; CARVALHO, N. A. The effect of small-scale logging on stand Briggs. Estimates of biomass in a temperate mangrove community. *Australian Journal of Ecology*, v. 2, p. 369-373, 2008.
- ARMITAGE, A. R. et al. The Contribution of Mangrove Expansion to Salt Marsh Loss on the Texas Gulf Coast. *Plos One*, v. 10, n. 5, 2015.
- ARTIOLI, L. G. S. Caracterização ambiental de uma área de marisma conhecida como “saco do Ratão” (Estuário Tramandaí-Armazém), Tramandaí, RS, Brasil. *Cadernos de Ecologia Aquática*, Bento Gonçalves, v. 3, n. 1, p. 23-36, 2008.
- ASHMORE, M. R. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant, Cell and Environment*, v. 28, p. 949-964, 2005.
- BALL, M. C. Ecophysiology of Mangroves. *Trees*, v. 2, p. 129-142, 1988.
- BATISTA, E. E. K. *Caracterização quantitativa e descrição anatômica do lenho de duas espécies arbóreas do manguezal da Baía Antonina e Guaratuba*. 2011. 38f. Trabalho de conclusão do Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- BERCHEZ, F. A. S. et al. Possíveis impactos das mudanças climáticas globais nas comunidades de organismos marinhos bentônicos da costa brasileira. In: BUCKERIDGE, M. S. *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. São Carlos: Rima, 2008. p. 167-180.
- BERNARDINO, A. F. et al. Predicting ecological changes on benthic estuarine assemblages through decadal climate trends along Brazilian Marine Ecoregions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 166, p. 74-82, 2015.
- BERTNESS, M. D. Interspecific Interactions among High Marsh Perennials in a New England Salt Marsh. *Ecological Society of América*, v. 72. p. 125-137, 1991.
- BLANKENSTEYN, A. *Estrutura e análise experimental do funcionamento das associações da macrofauna bêntica do manguezal e marisma da Gamboa Perequê, Pontal do Sul, PR*.

1994. 178f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

BORTOLUZZI, I. P. et al. Proteção e recuperação de ambientes de nascentes e encostas. In: DAMIANI, R. S. et al. *Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar, pela proteção e recuperação de ambientes de nascentes e encostas*. 2013.

BOTOSO, P. C.; MATTOS, P. P. Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação. *Série Documentos*, Colombo: Embrapa Florestas, n. 75, 2002.

BRAUN-BLANQUET, J. *Plant Sociology*. New York: McGraw-Hill. p. 405, 1932.

BRIDGEWATER, P. B.; CRESSWELL, I. D. Biogeography of mangrove and saltmarsh vegetation: implications for conservation and management in Australia. *Mangroves and Salt Marshes*, v. 3, p. 117-125, 1999.

BROCK, M. T.; WEINIG, C. Plasticity and environment-specific covariances: an investigation of floral-vegetative and within flower correlations. *Evolution*, v, 61, n. 29, p. 13–24. 2007.

CALLADO, C. et al. Cambial growth periodicity studies of South American woody species – A review. *IAWA Journal*, v. 34, p. 213-230, 2013.

CALLADO, C. et al. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. *Trees*, Berlin/Heidelberg, v. 15, p. 492-497, 2001.

CALLADO, C. et al. Studies in cambial activity: advances and challenges in knowledge of Brazilian species growth dynamics. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 1, p. 277-283, 2014.

CARPANEZZI, A. A. et al. Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina. *EMBRAPA-CNPQ*, Curitiba, p. 113, 1988.

CAVANAUGH, K. C. et al. Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, n. 2, p. 723–727. 2014.

CECCANTINI, G. C. T. et al. Possíveis impactos das mudanças climáticas globais nas comunidades de organismos marinhos bentônicos da costa brasileira. In: BUCKERIDGE, M. S. *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. São Carlos: Rima. 2008, p. 167-180.

CAMPOS, C. G. C. et al. Mudanças climáticas atuais e seus impactos no estado de SC. *Revista Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 19, n. 3, p.1-11, 2006.

CHAPMAN, V. J. *Mangrove Vegetation*. J. Cramer, p. 447. 1976.

CHEN, L. Z. et al. Damage to mangroves from extreme cold in early 2008 in southern China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, v. 34, p. 186-194, 2010.

CINTRÓN-MOLERO G.; et al. Structural and Functional Properties of Mangrove Forests. In: D'ARCY, W. G.; CORREA, M. D. A. (Eds.). *The Botany and Natural History of Panama*. Saint Louis: Missouri Botanical Garden, 1985, p. 53-66.

CINTRÓN-MOLERO, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Introducción a la ecología del manglar*. Montevideo: Rostlac, p.109, 1983.

CINTRÓN-MOLERO, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Ecology and management of new word mangroves. In: SEELIGER, U. *Coastal plant communities of Latin America*. New York: Academic Press, 1992, p. 233-258,

CINTRÓN-MOLERO, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Methods for studying mangrove structure, In: SNEDAKER, S. C.; SNEDAKER, J. D. (eds.), *The mangrove ecosystem: Research methods*, UNESCO, Bungay, United Kingdom, 1984, p. 91-113.

COHEN, M. C. L; LARA, R. J. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: Application of GIS and remote sensing techniques. *Wetlands Ecology and Management*, v. 11, p. 223-231. 2003.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 408. 1990.

COOK, E. R.; HOLMES, R. L. Guide for computer program ARSTAN. In: GRISSINO-MAYER, H. D. et al. *The International Tree-Ring Data Bank program library version 2.0 user's manual*. University of Arizona, Tucson Arizona, 1996. p. 75-87,

COSTA, C. S. B.; DAVY, A. J. Coastal saltmarsh communities of Latin America. In: SEELIGER, U. *Coastal plant communities of Latin America*. New York: Academic Press. p. 1992, p.179-199.

COSTA, C. G. et al. Xilema. In APPEZZATO, G. B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. *Anatomia Vegetal*. Viçosa: UFV, 2012. p.129-154.

COSTA, M. S. et al. Does growth rhythm of a wide-spread species change in distinct growth sites? *IAWA Journal*. v. 34, p. 498-509, 2013.

COSTA, V. J. et al. Análise de séries temporais climáticas. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 14, n. 2, 2015.

CUC, N. T. K. et al. Modelling the impacts of mangrove vegetation structure on wave dissipation in Ben Tre Province, Vietnam, under different climate change scenarios. *Journal of Coastal Research*, v. 31, n. 2, p. 340-347, 2015.

CUNHA, S. R. et al. Salinity and Flooding frequency as Determinant of mangrove forest structure in Babitonga bay, Santa Catarina State, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 1175-1180, 2006.

CUNHA-LIGNON, M. et al. Analysis of mangrove forest succession, using cores: a case study in the Cananea-Iguape coastal system, São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 57, p. 161-174, 2009.

- CURRIN, C. A. et al. The role of standing dead *Spartina alterniflora* and benthic microalgae in salt marsh food webs: Considerations based on multiple stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, v. 121, p. 99–116, 1995.
- DAHDOUH-GUEBAS, F.; KOEDAM, N. Are the northernmost mangroves of west Africa viable? e a case study in Banc d'Arguin National Park, Mauritania. *Hydrobiologia*, v. 458, p. 241-253, 2001.
- DE BOER, W. F. Biomass dynamics of seagrasses and the role of mangrove and seagrass vegetation as different nutrient sources for an intertidal ecosystem. *Aquatic Botany*, v. 66, p. 225-239, 2000.
- DIAS, M. A. F. S. et al. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos. 2009. p. 181-194.
- DIOP, E. S. et al. Recent changes of the mangroves of the Saloum River Estuary, Senegal. *Mangroves and Salt Marshes*, v. 1, p. 163-1720, 1997.
- DONATO, D. C. et al. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, v. 4, p. 293-297, 2011.
- DUKE, N. C. Australia's mangroves. *The authoritative guide to Australia's mangrove plants*. University of Queensland, Brisbane, Queensland, Australia, 2006.
- DUKE, N. C. et al. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*. v. 7, p. 27, 1998.
- DUKE, N. C. et al. Recovery of tropical mangrove following a major oil spill: a study of recruitment and growth, and the benefits of planting. In: YÁÑEZ-ARANCIBIA, A.; LARA-DOMÍNGUEZ, A. L. *Ecossistemas de Manglar em America Tropical*. México: Instituto de Ecología, Costa Rica: UICN/ORMA, 1999. p. 380,
- DUKE, N. C.; WATKINSON, A. J. Chlorophyll-deficient propagules of *Avicennia marina* and apparent longer term deterioration of mangrove fitness in oil-polluted sediments. *Marine Pollution Bulletin*, v 44, p. 1269-1276, 2002.
- DÜNISCH, O. et al. Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* and *Cedrela odorata* (Meliaceae). *IAWA JOURNAL*, v. 23, p. 101-119, 2002.
- EICHLER, P. P. B. et al. Avaliação da Saúde Ecológica do Sistema Estuarino de Laguna (SC) Baseado nas Espécies de Foraminíferos e Tecamebas. *Pesquisas em Geociências*, Instituto de Geociências, UFRG. Porto Alegre, RS, v. 33, p. 101-115, 2006.
- ELLIS, W. L. et al. Alteration of the chemical composition of mangrove (*Laguncularia racemosa*) leaf litter fall by freeze damage. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 68, p. 363-371, 2006.

- ELLISON, J. C. Mangrove Restoration: Do We Know Enough? *Restoration Ecology*, v. 8, n. 3, p. 219-229, 2000.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso: 22.abr. 2018
- ESTEVAM, M. R. M. *Dinâmica de uma planície hipersalina por espécies de mangue em Guaratiba, RJ*. 2013. 180f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- ESTRADA, G. C. D. *Análise da variabilidade estrutural de florestas de mangue de Guaratiba, Rio de Janeiro – RJ*. 2009. 83f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- 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, 2013.
- ESTRADA, G. C. D. et al. Annual growth rings in the mangrove *Laguncularia racemosa* (Combretaceae). *Trees*, v. 22, n. 5, p. 663-670, 2008.
- EVERT, R. F. Anatomia das plantas de Esau: meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento. Trad. MARCATI, C. R. São Paulo: Blucher. 726p. Tradução de: *Esau's plant anatomy: meristems, cells and tissues of the plant body: their structure, function and development*. 2013.
- EVERITT, J. H. et al. Integration of remote sensing and spatial information technologies for mapping black mangrove on the Texas Gulf coast. *Journal of Coastal Research*, v. 12, p. 64-69, 1996.
- EWERS, F. W. et al. Hydraulic conductivity and embolism in the mangrove tree *Laguncularia racemosa*. *Tree Physiology*, v. 24, p. 1057–1062, 2004.
- FELGER, R. S. et al. *The trees of Sonora*. Oxford University Press, New York, USA, 2001.
- FIELD, C. D. Impact of expected climate change on mangroves. *Hydrobiologia*, v. 295, p. 75-81, 1995.
- FIGUEIREDO, J. C.; SCOBAR, J. Estudo da trajetória dos Sistemas Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: *Congresso argentino de meteorologia*, Buenos Aires, 1996.
- FONSECA, G.; NETTO, S. A. Shallow sublitoral benthic communities of the Laguna Estuarine System, South Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 54, n.1, p. 41-54, 2006.
- FRANKLIN, J. et al. Disturbances and Structural Development of Natural Forest Ecosystems with Silvicultural Implications, using Douglas-Fir Forests as an Example. *Forest Ecology and Management*, v. 155, p. 399-423, 2002.

- FRIESS, D. A. et al. Are all intertidal wetlands naturally created equal? Bottlenecks, thresholds and knowledge gaps to mangrove and saltmarsh ecosystems. *Biological Reviews*, Cambridge, v. 87, p. 346–366, 2011.
- FROMARD, F. et al. Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analysis and field surveys. *Marine Geology*, v. 208, p. 265–280, 2004.
- FUENTES, M. V. *Climatologia de bloqueios próximos a América do Sul e seus efeitos*. 1997. 70f. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos/SP, 1997.
- GEBREKIRSTOS, A. et al. Opportunities and applications of dendrochronology in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, p. 48–53, 2014.
- 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, 2011.
- GIRI, C.; LONG, J. Is the geographic range of mangrove forests in the conterminous United States really expanding? *Sensors (Basel)*, v. 16, n. 12, 2016.
- GODOY, M. D. P.; LACERDA, L. D. D. Mangroves response to climate change: A review of recent findings on mangrove extension and distribution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 87, p. 651– 667, 2015.
- GONÇALVES, G. V. 2007. Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. *CIDEHUS* – Universidade de Évora. Disponível em: http://www.alt-shn.org/uploads/3/1/9/2/3192138/dendrocronologia_-_principios_teoricos.pdf. Acesso em: 15/05/17.
- GRISSINO, H. D. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Res*, v. 57, p. 5-21, 2001.
- HARARI, J.; CAMARGO, R. Simulação da propagação das nove principais componentes de maré na plataforma sudeste brasileira através de modelo numérico hidrodinâmico. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 35-54, 1994.
- HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin*, Arizona, v. 43, p. 69-78, 1983.
- HOPPE-SPEER, S. et al. The response of the red mangrove *Rhizophora mucronata* Lam. to changes in salinity and inundation: predictions for future climate change. *Aquatic Botany*, v. 95, p. 71–76, 2011.
- HOWARD, J. et al. Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Frontiers in Ecology*, v. 15, p. 42–50, 2017.
- HUGHES, M. K. Dendrochronology in climatology - the state of the art. *Dendrochronologia*, v. 20, p. 95-116, 2002.

INMET. 2018. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2018. Estações Automáticas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>. Acesso em: 13/01/18.

IPCC. Painel intergovernamental sobre mudança climática. *Mudança Climática: Relatório de Síntese – Contribuição aos Grupos de Trabalho I, II e III do 5º Relatório de avaliação*. Genebra, Suíça, p. 151, 2014.

JANSSONIUS, H. H. The vessels in the wood of Javan mangrove trees. *Blumea*, v. 6, p. 465–469, 1950.

JIMENEZ, J. A. et al. Tree mortality in mangrove forests. *Biotrópica*, v. 17. p. 177-185, 1985.

KAENNEL. M.; SCHWEINGRUBER, F. H. Multilingual glossary of dendrochronology: terms and definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. *Paul Haupt Publishers*, Swiss, p. 467, 1995.

KELLEWAY, J. J. et al. Review of the ecosystem service implications of mangrove encroachment into salt marshes. *Global Change Biology*, p. 1–18, 2017.

KJERFVE, B. Coastal Lagoons Processes. *Elsevier Oceanography Series*, Amsterdam, 1994.

KOCH, E. W. et al. Non-linearity in ecosystem services: temporal and spatial variability in coastal protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 7, p. 29-37, 2009.

KRAUSS, K. W.; ALLEN, J. A. Influences of salinity and shade on seedling photosynthesis and growth of two mangrove species, *Rhizophora mangle* and *Bruguiera sexangula*, introduced to Hawaii. *Aquatic Botany*, v. 77, p. 311–324, 2003.

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, 2007.

KRAUSS, K. W. et al. Sea-level rise and landscape change influence mangrove encroachment onto marsh in the Ten Thousand Islands region of Florida, USA. *Journal of Coastal Conservation*, v. 15, n. 4, p. 629-638, 2011.

KRUG, T. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das florestas à mudança do clima. *Parcerias Estratégicas*, v. 27, p. 43-72, 2008.

LANA, P. C. Onuphidae (Anellida: Polychaeta) from southeastern Brazil. *Bulletin of marine Science*, v. 48, n. 2, p. 280-295, 1991.

LANA, P. C. As marismas da Baía de Paranaguá: características gerais, modos de apropriação e implicações para a legislação ambiental. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Editora UFPR, n. 8, p. 11-23, 2003.

LARA, R. et al. Implications of mangrove dynamics for private land use in Bragança, North Brazil: a case study. *Journal of Coastal Conservation*, v. 8, p. 97-102, 2002.

- LAWRIMORE, J. H. et al. An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3. *Journal of geophysical research*, v. 116, 2011.
- LOT-HELGUERAS, A. et al. Physiognomic and floristic changes near the northern limit of mangroves in the Gulf Coast of Mexico. 1975. In WALSH, G. E. et al.; *Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves*. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, USA, 1975, p. 52–61.
- LOVELOCK, C. E. et al. Mangrove growth in New Zealand estuaries: the role of nutrient enrichment at sites with contrasting rates of sedimentation. *Oecologia*, v. 153, p. 633-641, 2007.
- LUGO, A. E. et al. Concepts in wetland ecology. 1990. In: Lugo, A. E. et al. Brown (eds.), *Forested Wetlands (Ecosystems of the World)*, Elsevier, Amsterdam, 1990, p. 53-85.
- MACIEL, N. C., SOFFIATI-NETTO, A. A., Raízes aéreas em *Avicennia germinans* (L.) Avicenniaceae, com emissão de sub-pneumatóforos. Rio Macaé, Macaé, RJ, Brasil. 1998. In: *Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros*, Águas de Lindóia, Brasil, p. 21-30, 1998.
- MACNAE, W. Mangrove swamps in South Africa. *Journal of Ecology*, v. 51, p. 1-25, 1963.
- MARANGONI, J. C. *Subsídios para o gerenciamento das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS)*. 2008. 141f. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2008.
- MARANGONI, J. C.; COSTA, C. S. B. Diagnóstico ambiental das marismas no estuário da lagoa dos patos – RS. *Repositório FURG*, Rio Grande, v. 31, n. 1, p. 85-98, 2009.
- MARENGO, J, A. Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: *Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Biodiversidade e Florestas*. 2006.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. G. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. *International Journal of Climatology*, v. 28, p. 893-904, 2008.
- MAZDA, Y. et al. Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp. *Wetlands Ecology and Management*, v. 14, p. 365-378, 2006.
- MCKEE, K. et al. Response of salt marsh and mangrove wetlands to changes in atmospheric CO₂, climate, and sea level. 2012. In MIDDLETON, B. A. editor. *Global change and the function and distribution of wetlands: global change ecology and wetlands*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 63-96, 2012.
- MENEZES, M. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 3, 2008.
- MENEZES, M. et al. Annual growth rings and long-term growth patterns of mangrove trees from the Bragança peninsula, North Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, v. 11, p. 233–242, 2003.

- MENGHINI, R. P. *Ecologia de manguezais: Grau de perturbação e processos regenerativos em bosques de mangue na ilha Barnabé, Baixada Santista, São Paulo, Brasil*. 2004. Dissertação (Instituto oceanográfico da Universidade de São Paulo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MENNE, M. J.; WILLIAMS, C. N., Jr. Homogenization of temperature series via pairwise comparisons. *Journal Climate*, v. 22, p. 1700-1717, 2009.
- MEURER, A. Z.; NETTO, S. A. Seasonal dynamics of benthic communities in a shallow sublittoral site of Laguna estuarine system (South, Brazil). *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, Itajaí, v. 11, n. 2, p. 53-62, 2007.
- MIRANDA, L. B, et al. *Princípios de oceanografia física de estuários*. EDUSP, São Paulo, p. 414, 2002.
- MOLION, L. C. B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. *Revista Climanalise*, n. 1, p. 1-5, 2006.
- MONTAGNA, P. A. et al. Coastal impacts 2008. In: SCHMANDT, J. et al. *The impact of global warming on Texas*. 2 eds. University of Texas Press: Austin, Texas, 2011, p. 96-123.
- MONTEIRO, M. A. Caracterização Climática do Estado de Santa Catarina: Uma Abordagem dos Principais Sistemas Atmosféricos que Atuam Durante o Ano. *Geosul*, Florianópolis, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.
- MORRISEY, D. J. et al. The ecology and management of temperate mangroves. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, v. 48, p. 43–160, 2010.
- NAGELKERKEN, I. et al. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*, v. 89, p. 155–185. 2008.
- NASCIMENTO, M. B. F. *Periodicidade de crescimento e análise dos anéis de crescimento de espécies arbóreas da mata atlântica*. 2011. Dissertação (Mestrado em ciências biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2011.
- NEREM, R. S. et al. Present-day sea-level change: A review. *External Geophysics, Climate and Environment*. v. 338, p. 1077–1083, 2006.
- NETTO, S. A. *Composição, distribuição e variabilidade sazonal da macrofauna bêntica de marismas e bancos não vegetados da Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil)*. 1993. 91f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Universidade federal do Paraná, Curitiba, 1993.
- NETTO, S. A.; GALLUCII, F. Meiofauna and macrofauna communities in a mangrove from the island of Santa Catarina, South Brazil. *Hydrobiologia*, Belgium, v. 505, p. 159-170, 2003.
- NETTO, S. A.; LANA, P. C. Intertidal zonation of benthic macrofauna in a subtropical salt marsh and nearby unvegetated flat (SE Brazil). *Hydrobiologia*, Belgium, v. 353, p. 171-180, 1997.

NETTO, S. A.; LANA, P. C. The role of above-and below-ground components of *Spartina alterniflora* (Loisel) and detritus biomass in structuring macrobenthic associations of Paranaguá Bay (SE, Brazil). *Hydrobiologica*, Belgium, v. 400, p. 167-177, 1999.

NIEVA, F. J. J. et al. Field variability of invading populations of *Spartina densiflora* Brong. in different habitats of the Odiel Marshes (SW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Orlando, v. 52, p. 515-527, 2001.

NOAA. National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series. 2018. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/> . Acesso: 15 mar. 2018.

NOBRE, C. Mudanças climáticas e o Brasil – Contextualização. *Parcerias e estratégicas*. Brasília/DF, 2008.

NOGUEIRA, R. X. S. N.; COSTA, C. S. B. Mapeamento das marismas do estuário da lagoa dos patos (RS - Brasil) utilizando fotografias aéreas digitais 35mm no modo infravermelho. In: *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternários, 2003, Recife. II Congresso do Quaternário de Países de Língua Ibérica e II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa*. Recife: ABEQUA, v. 1, 2003.

ODUM, H. T. *Ecological and general systems: an introduction to systems ecology*. Rev. ed of: Systems Ecology. Colorado: University Press of Colorado. 235p, 1994.

OLIVEIRA, V. F. *Monitoramento do ecossistema manguezal visando sua utilização como indicador de variações do nível médio relativo do mar (Guaratiba – RJ)*. 2001. Monografia de Bacharelado. Faculdade de Oceanografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2001.

OLIVEIRA, R. G.; TOGNELLA, M. M. P. Processo de colonização do manguezal do Rio Tavares por análise da estrutura de diferentes bosques. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. v. 18, p. 9, 2014.

OSLAND, M. J. et al. 2015. Life stage influences the resistance and resilience of black mangrove forests to winter climate extremes. *Ecosphere*, v. 6, 2015.

OSLAND, M. J. et al. Climatic controls on the global distribution, abundance, and species richness of mangrove forests. *Ecological Monographs*. v. 0, n. 0, p. 1–19, 2016.

OSLAND, M. J. et al. Winter climate change and coastal wetland foundation species: Salt marshes vs. mangrove forests in the southeastern United States. *Global Change Biology*, v. 19, n. 5, p. 1482-1494, 2013.

PATTERSON, C. S. et al. Effects of tidal inundation and predation on *Avicennia germinans* seedling establishment and survival in a sub-tropical mangal/salt marsh community. *Mangroves Salt Marshes*, v. 1, p. 103–111, 1997.

PATTERSON, C. S. et al. Growth and Survival of *Avicennia germinans* Seedlings in a Mangal/Salt Marsh Community in Louisiana, U.S.A. *Journal of Coastal Research*, v. 9, n. 3, p. 801-810, 1993.

- PBMC. Painel brasileiro de mudanças climáticas. 2016. *Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. RIBEIRO, S. K.; SANTOS, A. S. Rio de Janeiro, Brasil, p. 116, 2016.
- PELLEGRINI, J. A. C. *Caracterização da planície hipersalina (apicum) associada a um bosque de mangue em Guaratiba, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro-RJ*. 2000. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- PELLEGRINI, J. A. C. et al. A method for the classification of mangrove forests and sensitivity/ vulnerability analysis. *Journal of Coastal Research*, p. 443-447, 2009.
- PENNINGS, S.C.; BERTNESS, M. D. Salt marsh communities. 2001. In: BERTNESS, M.D. et al. *Marine Community Ecology and Conservation*. Sunderland: Sinauer Associates, p. 289–316, 2001.
- PERRY, C. L.; MENDELSSOHN, I. A. Ecosystem effects of expanding populations of *Avicennia germinans* in a Louisiana salt marsh. *Wetlands*, v. 29, p. 396-406, 2009.
- PROISY, C. et al. Interpretation of polarimetric signatures of mangroves forests. *Remote Sensing of Environment*, v. 71, p. 56–66, 2000.
- QUISTHOUDT, K. et al. Temperature variation among mangrove latitudinal range limits worldwide. *Trees*, v. 26, p. 919–1931, 2012.
- RAABE, E. A. et al. Tampa bay coastal wetlands: Nineteenth to twentieth century tidal marsh-to-mangrove conversion. *Estuaries and Coasts*, v. 35, p. 1145–1162. 2012.
- RAVEN, P. H. et al. *Biologia Vegetal*. 7ª. ed. Coord. Trad. KRAUS. J. E. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- ROGERS, D. I. et al. High-tide habitat choice: Insights from modelling roost selection by shorebirds around a tropical bay. *Animal Behaviour*, v. 72, p. 563– 575, 2006.
- SAENGER, P. *Mangrove ecology, silviculture and conservation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 2002.
- SAINTILAN, N. et al. Salt marsh-mangrove interactions in Australia and the Americas. 2009. In PERILLO, G. M. E. et al. *Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, p, 855–883, 2009.
- SAINTILAN, N. et al. Mangrove expansion and salt marsh decline at mangrove poleward limits. *Global Change Biology*, v. 20, p. 147–157, 2014.
- SALEH, M. A. Assessment of mangrove vegetation on Abu Minqar island of the Red sea. *Journal of Arid Environments*, v. 68, p. 331-336, 2007.
- SALES, J. B. L. et al. Structural analysis of two mangrove stands, Cajutuba river, municipality of Marapanim, Pará, Brazil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.4, p. 27-35, 2009.

SAMPAIO, G. et al. Possíveis impactos das mudanças climáticas globais nas comunidades de organismos marinhos bentônicos da costa brasileira. 2008. In: BUCKERIDGE, M. S. *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil*. São Carlos: Rima, p. 167-180, 2008.

SANTA CATARINA. Disponível em:

http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Planos%20de%20Bacias/Plano%20de%20Bacia%20Hidrografica%20do%20Rio%20Tubarao%20e%20Complexo%20Lagunar/Volume%20I/2.pdf. Acesso em: 20, jun, 2018.

SANTO, S. M. E. *Evolução da ocupação do solo nos Manguezais do município de Palhoça Utilizando técnicas de sensoriamento Remoto*. 2004. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G. Guia para estudo de área de manguezais: estrutura, função e flora. *Caribbean Ecological Research*, São Paulo, p. 150, 1986.

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

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Situação atual do grupo de ecossistemas: “Manguezal, Marisma e Apicum” incluindo os principais vetores de pressão e as perspectivas para sua conservação e usos sustentável*. São Paulo, Brasil, p. 119, 1989.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem*, v. 3, p. 561–570, 2000.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography*. v. 64, p. 37-52, 2016.

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

SCHONGART, J. et al. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology*, v. 18, p. 581-597, 2002.

SCHONGART, J. et al. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño–Southern Oscillation effect. *Global Change Biology*, v. 10, p. 683-692, 2004.

SCHMITZ, N. et al. Influence of a salinity gradient on the vessel characters of the mangrove espécie *Rhizophora mucronata*. *Annals of Botany*, v. 98, p. 1321-1330, 2006.

SCHWEINGRUBER, F. H. *Wood structure and environment*. Ed. Springer. 2007.

SEMENIUK, V. et al. The white mangrove *Avicennia marina* in the Leschenault Inlet area. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, v. 83, p. 317-333, 2000.

SEMENIUK, V. Predicted response of coastal wetlands to climate changes: a western Australian model. *Hydrobiologia*, v. 708, p. 23–43, 2013.

- SILLIMAN, B. R.; ZIEMAN, J. C. Top-down control of *Spartina alterniflora* production by periwinkle grazing in a Virginia salt marsh. *Ecological Society of America*, v. 82, p. 2830-2845, 2001.
- SILVA, M. A. B. et al. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, n. 19, p. 465-471, 2005.
- SIRHESC. Sistema de informações de recursos hídricos do estado de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=49&Itemid=1174&jsmallfib=1&dir=JSROOT/Comite+Rio+Tubarao>. Acesso: 15, mai. 2018.
- SMITH, L. B. et al. *Gramíneas*. Flora Ilustrada Catarinense (GRAM), p. 393-404, 1981.
- SOARES, M. L. G. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 59, n. 3, p. 503-515, 1999.
- SOARES, M. L. G. *Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudeste do Brasil – análise de modelos*. 1997. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- SOARES, M. L. G. et al. Caracterização das Florestas de Mangue no Complexo Estuarino de Caravelas (Bahia-Brasil). *Boletim Técnico-Científico do CEPENE*, v. 16, n. 5, p. 23-41, 2008.
- SOARES, M. L. G. et al. Diversidade Estrutural de Bosques de Mangue e sua Relação com Distúrbios de Origem Antrópica: o caso da Baía de Guanabara (Rio de Janeiro). *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v. 26, p. 101-116, 2003.
- SOARES, M. L. G. et al. Environmental Changes in South America in the Last 10 Years: Atlantic and Pacific Controls and Biogeophysical Effects: Ecological Impacts of Climatic Change and Variability: Coastal Environments – Mangroves and Salt Flats. *Report to the Inter-American Institute on Climate Change (IAI)*, p. 62, 2005.
- SOARES, M. L. G. et al. Mangrove forests associated with salt flats: a case study from southeast, Brazil. *Brazilian journal of oceanography*, n. 65, p. 102-115, 2017.
- 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*, n. 101, p. 44-53, 2012.
- SOBRADO, M. A. Ecophysiological characteristics of *Avicennia germinans* and *Laguncularia racemosa* coexisting in a scrub mangrove forest at the Indian River Lagoon, Florida. *Trees*, v. 20, p. 679-687, 2006.
- SOKAL, R. R.; ROHLF, J. F. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 4 eds, New York, 1980.
- SORIANO-SIERRA et al. Monitoramento da estrutura de pradarias de marismas. 2015. In: TURRA, A.; DENADAI, M. R. *Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos*

Costeiros - Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos. São Paulo - SP: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p. 116 – 120, 2015.

SOUZA, B. T. et al. Occurrence of annual growth rings in *Rhizophora mangle* in a region with low climate seasonality. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. Printed version ISSN 0001-3765 / Online version ISSN 1678-2690 <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620150009>, 2016.

SOUZA, M. M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. Variação temporal da estrutura dos bosques de mangue de Suape e PE após a construção do porto. *Acta Botanica Brasilica*, v. 15, p. 1-12, 2001.

SPALDING, M. et al. *World atlas of mangroves*. Earthscan, London, UK, 2010.

STEVENS, P. W. et al. The interplay between mangroves and salt marshes at the transition between temperate and subtropical climate in Florida. *Wetlands Ecology and management*, v. 14, p. 435-444, 2006.

STUART, S. A. et al. The role of freezing in setting the latitudinal limits of mangrove forests. *New Phytologist*, v. 173, p. 576–583, 2007.

SUWA, R.; HAGIHARA, A. Seasonal changes in canopy photosynthesis and foliage respiration in a *Rhizophora stylosa* stand at the northern limit of its natural distribution. *Wetlands Ecology and Management*, v. 16, p. 313-321, 2008.

SWALES, A. et al. Mangrove-forest evolution in a sediment-rich estuarine system: opportunists or agents of geomorphic change?: Mangroves: Opportunists or Agents of Geomorphic Change?. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 40, 2015.

TARARAM, A. S. *Distribuição espacial e temporal da macrofauna bentopelágica em marisma da região de Cananéia (SP, Brasil)*. 1994. 169f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

THOMAS, M. L. H. Mangrove swamps in Bermuda. *Atoll Research Bulletin*, v. 17, p. 386, 1993.

TOMAZELLO-FILHO, M. et al. Análise e aplicação dos anéis de crescimento em árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. 2001. In: MAIA, N. B. et al. *Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: EDUC. p. 117-143, 2001.

TOMLINSON, P. B. *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press, p. 417, 1986.

TURNER, R. M. et al. *Sonoran desert plants: an ecological atlas*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA, 2005.

TWILLEY, R. R. *Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments*. University of Colorado Press, Boulder, Colorado. p. 43-61, 1995.

UNEP. Mangroves of Western and Central Africa. *Technical Report*, UNEP-Regional Seas Programme/UNEP-WCMC, United Kingdom. 2007.

- VALGAS, I. S. 2009. *As marismas de Spartina alterniflora e os taboais de Typhadomingensis do sistema estuarino de Laguna (Santa Catarina, Brasil): Distribuição espacial, estrutura e macrofauna associada*. 2009. 62f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Universidade Federal do Paraná, Pontal do Sul, 2009.
- VAN VLIET, G. J. C. M. *Wood anatomy of the Combretaceae*. *Blumea*, v. 25, p. 141–223, 1979.
- VERHEYDEN, A. et al. Growth rings, growth ring formation and age determination in the mangrove *Rhizophora mucronata*. *Annals of Botany*, v. 94, p. 59-66, 2004.
- XIMENES, A. C. et al. Spatial assessment of the bioclimatic and environmental factors driving mangrove tree species, distribution along the Brazilian coastline. *Remote Sensing*, v. 8, n. 6, p. 451, 2016.
- ZHANG, Y. et al. Interactions between mangroves and exotic *Spartina* in a anthropogenically disturbed estuary in southern China. *Ecology*, v. 93, n. 3, p. 588–597, 2012.
- WALSH, G. E. Mangroves: a review. 1974. In: REINOLD, R.J., QUEEN, W.H. *Ecology of Halophytes*. Academic Press, New York, p. 51-174, 1974.
- WANG, W. et al. Influence of frost on nutrient resorption during leaf senescence in a mangrove at its latitudinal limit of distribution. *Plant and Soil*, v. 342, p. 105–115, 2011.
- WEST, R. C. Tidal salt-marsh and mangal formations of Middle and South America. 1977. In CHAPMAN, V. J. *Ecosystems of the World. Wet coastal ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, p. 193–213, 1977.
- 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, p. 265-280, 1985.
- WOODROFFE, C. D.; GRINDROD, J. Mangrove biogeography: the role of quaternary environmental and sea-level change. *Journal of Biogeography*, v. 18, p. 479–492, 1991.
- WORBES, M. Annual growth rings rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserv in Venezuela. *Journal of Ecology*, v. 87, p. 391-403, 1999.
- WORBES, M. Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the neotropics. *IAWA bulletin new series*, v.10, p. 109-122, 1989.
- WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. *IAWA Journal*, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.
- WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, v. 20, p. 217-231, 2002.

YANDO, E. S. et al. Salt marsh-mangrove ecotones: using structural gradients to investigate the effects of woody plant encroachment on plant–soil interactions and ecosystem carbon pools. *Journal of Ecology*, v. 104, n. 4, p. 1020-1031, 2016.

YÁÑEZ-ESPINOSA, L. et al. Wood variation in *Laguncularia racemosa* and its effect on fibre quality. *Wood Science and Technology*. v. 38, p. 217–226, 2014.

YSEBAERT, T. et al. Wave attenuation by two contrasting ecosystem engineering salt marsh macrophytes in the intertidal pioneer zone. *Wetlands*, v. 31, p. 1043-1054, 2011.

APÊNDICE – Tabela com dados de correlações, sensibilidade média e ano inicial de crescimento gerados pelo COFECHA para cada amostra com medula de transição e interior de manguezais.

| Tipo fisiográfico | Parcela | Indivíduo | Correlação | Sensibilidade | Ano inicial | Idade | D_{meio} |
|--------------------------|----------------|------------------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------|-------------------------|
| Transição | T1 | 1 | r= 0,85 | 0,347 | 2000 | 15 | 5.9 |
| | | 2 | r= 0,62 | 0,344 | 1998 | 17 | 5.8 |
| | | 4 | r= 0,83 | 0,308 | 1992 | 23 | 8 |
| | | 6 | r= 0,84 | 0,361 | 2001 | 14 | 4.7 |
| | T2 | 3 | r= 0,58 | 0,235 | 1998 | 17 | 4.4 |
| | | 4 | r= 0,47 | 0,230 | 2004 | 11 | 3.1 |
| | | 6 | r= 0,92 | 0,350 | 2006 | 9 | 3 |
| | T3 | 2 | r= 0,75 | 0,340 | 1995 | 20 | 6.8 |
| | | 3 | r= 0,76 | 0,427 | 1992 | 23 | 7.2 |
| | | 7 | r= 0,59 | 0,344 | 1991 | 24 | 9.6 |
| | T4 | 2 | r= 0,65 | 0,340 | 1998 | 17 | 4.7 |
| | | 3 | r= 0,85 | 0,372 | 1999 | 16 | 5.2 |
| | | 4 | r= 0,80 | 0,376 | 1995 | 20 | 5.1 |
| | T5 | 2 | r= 0,66 | 0,368 | 1994 | 21 | 6.4 |
| | | 3 | r= 0,65 | 0,380 | 1992 | 23 | 6.8 |
| 4 | | r= 0,53 | 0,431 | 1996 | 19 | 4.6 | |
| 5 | | r= 0,72 | 0,388 | 1997 | 18 | 5.5 | |
| Interior | I1 | 1 | r= 0,53 | 0,306 | 1987 | 28 | 9 |
| | | 2 | r= 0,87 | 0,399 | 1993 | 22 | 9.5 |
| | | 3 | r= 0,75 | 0,370 | 1990 | 25 | 9 |
| | | 4 | r= 0,68 | 0,436 | 1989 | 26 | 9 |
| | | 5 | r= 0,69 | 0,407 | 1991 | 24 | 9.7 |
| | I2 | 1 | r= 0,30 | 0,395 | 1979 | 36 | 9.4 |
| | | 2 | r= 0,62 | 0,382 | 1986 | 29 | 8.7 |
| | I3 | 1 | r= 0,64 | 0,452 | 1990 | 25 | 7.3 |
| | | 2 | r= 0,56 | 0,304 | 1989 | 26 | 7.9 |
| | | 3 | r= 0,59 | 0,368 | 1986 | 29 | 7.8 |
| | | 5 | r= 0,78 | 0,412 | 1990 | 25 | 8 |
| | I4 | 2 | r= 0,62 | 0,499 | 1991 | 24 | 7 |
| | | 3 | r= 0,82 | 0,446 | 1988 | 27 | 7.2 |
| | | 5 | r= 0,66 | 0,459 | 1990 | 25 | 8 |
| | I5 | 2 | r= 0,61 | 0,409 | 1993 | 22 | 8.2 |
| 3 | | r= 0,67 | 0,468 | 1996 | 19 | 6.7 | |
| 4 | | r= 0,79 | 0,393 | 1989 | 26 | 7.9 | |
| 5 | | r= 0,48 | 0,375 | 1985 | 30 | 9 | |

ANEXO – Comprovante de registro para coleta de material biológico, emitido pelo Ministério do Meio Ambiente



Ministerio do Meio Ambiente - MMA
 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
 Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Comprovante de registro para coleta de material botânico, fungico e microbiológico

| | |
|--|-----------------------------------|
| Número: 57171-1 | Data da Emissão: 18/01/2017 11:14 |
| Dados do titular | |
| Nome: Gustavo Calderucio Duque Estrada | CPF: 097.065.357-30 |

Observações e ressalvas

| | |
|---|--|
| 1 | As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, a difusão ou a pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia. |
| 2 | A autorização nº eximira o pesquisador da necessidade de obter outras anuências, como: I) do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador quando as atividades forem realizadas em área de domínio privado ou dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso; II) da comunidade indígena envolvida, ouvido o órgão indigenista oficial, quando as atividades de pesquisa forem executadas em terra indígena; III) do Conselho de Defesa Nacional, quando as atividades de pesquisa forem executadas em área indispensável a segurança nacional; IV) da autoridade marítima, quando as atividades de pesquisa forem executadas em águas jurisdicionais brasileiras; V) do Departamento Nacional da Produção Mineral, quando a pesquisa visar a exploração de depósitos fossilíferos ou a extração de espécimes fósseis; VI) do órgão gestor da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, dentre outras. |
| 3 | O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior. |
| 4 | E necessário a obtenção de anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como de consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade. |
| 5 | Este documento nº abrange a coleta de vegetais hidrobios, tendo em vista que o Decreto-Lei nº 221/1967 e o Art. 36 da Lei nº 9.605/1998 estabelecem a necessidade de obtenção de autorização para coleta de vegetais hidrobios para fins científicos. |
| 6 | A autorização para envio ao exterior de material biológico nº consignado deverá ser requerida por meio do endereço eletrônico www.ibama.gov.br (Serviços on-line - Licença para importação ou exportação de flora e fauna - CITES e nº CITES). |
| 7 | Este documento nº é válido para: a) coleta ou transporte de espécies que constem nas listas oficiais de espécies ameaçadas de extinção; b) recebimento ou envio de material biológico ao exterior; e c) realização de pesquisa em unidade de conservação federal ou em caverna. |
| 8 | Este documento nº dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/cgen . |
| 9 | Esse documento nº eximira o pesquisador da necessidade de obter outras anuências, como: I) da comunidade indígena envolvida, ouvido o órgão indigenista oficial, quando as atividades de pesquisa forem executadas em terra indígena; II) do Conselho de Defesa Nacional, quando as atividades de pesquisa forem executadas em área indispensável a segurança nacional; III) da autoridade marítima, quando as atividades de pesquisa forem executadas em águas jurisdicionais brasileiras; IV) do Departamento Nacional da Produção Mineral, quando a pesquisa visar a exploração de depósitos fossilíferos ou a extração de espécimes fósseis; V) do órgão gestor da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, dentre outras. |

Taxons autorizados

| # | Nível taxonômico | Taxon(s) |
|---|------------------|-----------------------|
| 1 | ESPECIE | Laguncularia racemosa |

Este documento (Comprovante de registro para coleta de material botânico, fungico e microbiológico) foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 79976429

