



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO**  
**AMBIENTE**  
**DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE (DDMA)**

**MARIA GRACELIA PAIVA NASCIMENTO**

**ECOLOGIA, SISTEMÁTICA E SEQUESTRO DE CARBONO EM ÁREAS DE**  
**MANGUEZAL DO DELTA DO PARNAIBA, MARANHÃO, BRASIL**

TERESINA – PI

2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ - (UFPI)**  
**Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PRPG)**  
**Núcleo de Referências em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste**  
**(TROPEN)**  
**Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente**  
**(PRODEMA)**  
**Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (DDMA)**

MARIA GRACELIA PAIVA NASCIMENTO

**ECOLOGIA, SISTEMÁTICA E SEQUESTRO DE CARBONO EM ÁREAS DE**  
**MANGUEZAL DO DELTA DO PARNAIBA, MARANHÃO, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Biodiversidade e Utilização Sustentável dos Recursos Naturais.

Orientadora: Profa. Dra. Ivanilza Moreira de Andrade  
Co-orientador: Prof. Dr. Simon Joseph Mayo

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Serviço de Processamento Técnico  
Biblioteca Setorial de Ciências da Natureza – CCN

N244e Nascimento, Maria Gracelia Paiva.

Ecologia sistemática e sequestro de carbono em áreas de manguezal do Delta do Parnaíba, Maranhão, Brasil / Maria Gracelia Paiva Nascimento. – Teresina: 2021.

387 f. il: color.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências da Natureza, Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina, 2021.

“Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ivanilza Moreira de Andrade”.

Coorientador: Prof. Dr. Simon Joseph Mayo.

1. Etnobotânica. 2. *Avicennia germinans*. 3. *Avicennia shaueriana*. 4. Fitossociologia. 5. Morfometria. I. Andrade, Ivanilza Moreira de. II. Título.

CDD 574.5

Bibliotecária: Caryne Maria da Silva Gomes – CRB3/1461

MARIA GRACELIA PAIVA NASCIMENTO

**ECOLOGIA, SISTEMÁTICA E SEQUESTRO DE CARBONO EM ÁREAS DE  
MANGUEZAL DO DELTA DO PARNAIBA, MARANHÃO, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Biodiversidade e Utilização Sustentável dos Recursos Naturais.

Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste.

Linha de Pesquisa: Biodiversidade e Utilização Sustentável dos Recursos Naturais

Aprovado em 30 de junho de 2021

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ivanilza Moreira de Andrade  
Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN)  
Orientadora

---

Prof. Dr. Simon Joseph Mayo  
Royal Botanic Gardens, Kew, Surrey TW9, UK  
Orientador

---

Prof. Dr. Clemente Coelho Júnior  
Universidade de Pernambuco (UPE)  
Membro Externo

---

Prof. Dr. João Batista Lopes  
Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN)  
Membro Interno

---

Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
Membro Interno

---

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)  
Membro Externo

A minha mãe Graça Paiva e pai Fco Cardoso (*In memória*) pelo amor, apoio e paciência,

A filha, Emile Paiva pelo amor e contínuo companheirismo e confiança,

Aos meus queridos orientadores pelos ensinamentos e dedicação.

**DEDICO**

*“Todo homem, por natureza, quer saber.”*

**Aristóteles**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela existência, força e proteção infinita que me dá. Obrigada Senhor pelas oportunidades.

À Universidade Federal do Piauí, *Campus* Ministro Petrônio Portella, juntamente com o Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFPI.

À Universidade Federal Delta do Parnaíba, *Campus* Ministro Reis Velloso e ao Herbário Delta do Parnaíba – HDELTA pelo suporte para o desenvolvimento desta Tese.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa, o que permitiu cursar e desenvolver este estudo ao longo destes anos.

À minha orientadora Profa. Dra. Ivanilza Moreira de Andrade, minha orientadora, amiga e mãe acadêmica, pelas orientações que foram e são de grande benefício para o desenvolvimento deste trabalho, assim como meu crescimento profissional. Sou grata ainda pelas sugestões, pelas conversas, conselhos e até mesmo “puxões de orelha”, sempre necessários e certos. Passamos por muitos momentos de pressão, mas tenho certeza que cresci muito, mesmo com minhas dificuldades e limitações. Obrigada por confiar! Muito tenho a agradecer pelos diversos auxílios e edificações ao longo da minha trajetória acadêmica, incluindo os Estágios à Docência e construção deste manuscrito. Obrigada mesmo, por tudo!

Ao professor Simon Joseph Mayo, Coorientador, sempre solícito quando precisei, sempre disponível para orientar os mais diversas dúvidas e auxiliar na construção das idéias. Muitíssimo obrigada pela compreensão e paciência, professor, sou grata pelas dicas importantíssimas sobre técnicas em *R*. Não somente, como pelas palavras de incentivos e dedicação durante todo este tempo.

Aos componentes das bancas de seminários II e III, professor Dr. João Batista Lopes e Professora Dra. Gardene Maria Sousa pelas valiosas contribuições e construções ao longo do curso. Juntamente com os componentes da banca do Exame de Qualificação e Defesa professores, Dr. Clemente Coelho Junior, Dr. Edson Vicente da Silva, Dra. Gardene Maria Sousa e Dr. João Batista Lopes pela disponibilidade em contribuir com este manuscrito.

Aos meus professores do curso de Doutorado, não somente da UFPI, mas demais IES vinculadas ao programa, onde pude desfrutar de experiências maravilhosas e construtivas, além de serem essenciais na elaboração deste trabalho, aliás, com quem muito aprendi o que é ser interdisciplinar, seja na vida pessoal, seja na vida acadêmica. Muito obrigada, mesmo.

À Coordenação do Curso de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, na pessoa de José Machado Moita Neto, muito obrigada pelas orientações e conselhos.

Ao assistente Administrativo do Curso de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, na pessoa de José Santana da Rocha (Zezinho).

Sou grata também aos pescadores das comunidades entrevistadas. Não tenho palavras para agradecer a acolhida, a paciência, os ensinamentos em meio aos seus trabalhos, que de forma totalmente gratuita se dispuseram a me ajudar, seja respondendo aos formulários, seja indo ao campo para coletas botânicas e me auxiliando nas identificações vernaculares e por compartilharem de vosso conhecimento empírico e tão rico.

Aos pescadores de Água Doce do Maranhão, em especial a Maria da Conceição, Francisco das Chagas; ao Senhor Chico Rodrigues, conhecido como Chico; ao senhor Edino pela acolhida e amizade, e por estarem sempre dispostos a ajudar, pelo acolhimento e amizade. Em Araiões ao senhor Vicente de Paulo Cirilo (Paulão), morador da Ilha das Barreiras, obrigada pelos ensinamentos, por ter nos acolhidos, cuidado e orientado ao longo destes anos como fossemos de suas famílias. A confiança e carinho a mim dedicado fez muita diferença. Grata mesmo.

À minha mãe Maria das Graças Paiva Nascimento, pelo amor, paciência e dedicação mesmo nos momentos que não entendia ao certo o porque da demora ao longo de minha vida.

À minha filha Emile Paiva de Carvalho pela motivação, amor e paciência. Por todas as vezes que disse que não podia brincar ou sair por está escrevendo ou em campo, e mesmo com sua pouca idade soube dizer “tudo bem, depois você ler para mim, né?” ... por me consolar dizendo que iria dá certo na “fedelal”. Te amo filha! Você chegou em vida minha no momento mais corrido de minha vida acadêmica e hoje, um pouco mais madura, sei do tamanho e da importância que isto fez em minha vida. Saiba que este esforço e certa ausência também é por você! Você entenderá um dia, meu amor!!Te amo muito!

A minha querida Graziela Lima de Araújo por todo apoio emocional, atemporal e companheirismo nestes anos todos de Tese. Te conhecer e aceitá-la em minha vida foi muito mais que dividir discussões acerca do trabalho...foi sentir que mesmo quando não estamos buscando alguém ...ela chega, ganha espaço e faz moradia. Obrigada não somente pelas trocas científicas, mas pelas diversas vezes que, de alguma forma me incentivou e acreditou, mesmo discordando do rumo das discussões do(s) artigo(s). Acredito que isso nos fortaleça, enquanto cientistas e estreita ainda mais nossos laços enquanto humanos. Te gosto muito menina!

Aos queridos, Giovanna Souza, Alessandra Souza dos Santos, Ruanna Thaimires Brandão e Cleiton Barroso Bittercourt pela amizade, trocas não apenas acadêmicas, mas na construção dos *papers*. Aprendi muito e espero que continuemos. Vocês são demais, mesmo!



Ao senhor Raimundo Nonato de Souza Silva (senhor Raimundinho) pelo apoio e grande auxílio na coleta de dados em todas as áreas, companheirismo nas viagens e experiências compartilhadas, também essencial na construção deste manuscrito. Obrigada, você foi muito além de motorista, você foi um amigo.

À Daniela Mendes de Carvalho por fazer parte de minha vida acadêmica; por ser uma incentivadora e companheira. Muito agradecida pelo auxílio nas diversas idas ao campo durante todo o curso, pela paciência e apoio incondicional durante estes vários anos de vida acadêmica, o que inclui esta tese, afinal administrador também pode entender de mangue, não é isto? Agradeço a Deus pela resignação mesmo nos momentos que não tinha paciência. Sua aceitação e compreensão sempre fizeram a diferença e me ajudaram a não desistir, nos momentos de dúvidas. Sei, inclusive, o quanto “sofreu” junto seja pelo *stress*, seja pela ausência, seja pela minha impaciência ou por se sentir que não estava ajudando, quando na verdade sua companhia mantinha-me acordada. Seu companheirismo foi como alicerce, mesmo nos momentos mais difíceis, nesta construção. Obrigada por ter auxiliado e contribuído na vida profissional.

Aos funcionários do Tropen, na pessoa do “Senhor Raimundo” Lemos e aos vigilantes pela paciência e auxílio ao longo desta jornada.

A todos os bolsistas do HDELTA (Igor Vieira Brandão, Davi Nascimento Costa, Airton José de Carvalho e Daniela Aguiar), pelo apoio e auxílio das coletas, momentos de descontrações em meio aos cafés, afinal nem só de *stress* uma tese é construída.

Ao querido Marcos Moraes Vieira Filho pelo suporte nas coletas de campo e por dividir experiências ao longo destes anos. Seu companheirismo levarei para a vida. Muito obrigada.

Ao Cleisson Antonio Barbosa e Jessica Maria Salvador pelo auxílio das coletas de campo (Solo e Flora), meu sincero agradecimento pelos momentos de lute e risos.

Aos meus amigos de turma de Doutorado (Turma 2017-2021) Adriana Lima, Eduilson Lívio Carneiro, Alessandro Rhadamec, Dalton Macambira, Miguel Antonio Rodrigues, Mario Ângelo de Meneses Sousa, Oswaldo Augusto Vasconcelos e, inclusive a Hérica Melo.

E aos demais que aqui não mencionei, mas que de alguma forma contribuíram enormemente, seja com boas vibrações, seja perguntando como estava me sentindo diante de tanta pressão, como estava lidando com a ansiedade, incertezas decorrentes da pandemia.

***Muito obrigada, mesmo!!***

## **Vida de Mangue**

*Raiz que sobe  
raiz que desce  
num forte enlace  
raiz que cresce  
buscando o sol  
raiz que finca  
seu pé na lama  
e forma trama  
de aranhol  
planta que traga  
o sal da água  
planta que exsuda  
o sal na folha  
galho que toca  
da água o rés  
e água que sobe  
com as marés  
lama estranha  
e que se entranha  
em nossos pés  
vida diurna  
vida noturna  
a fervilhar  
mundo operário  
infatigável  
a fabricar  
o alimento  
pra preamar  
onde o avanço  
é retrocesso  
e o balanço  
é o sucesso*

**Arthur Soffiati (1947)**

## RESUMO

### ECOLOGIA, SISTEMÁTICA E SEQUESTRO DE CARBONO EM ÁREAS DE MANGUEZAL DO DELTA DO PARNAÍBA, MARANHÃO, BRASIL

Os mangues compõem um ecossistema complexo e heterogêneo detentor de relevância ecológica, social e econômica. No entanto, estudos acerca das espécies e a estrutura ecológica para os manguezais ocorrentes na Área de Proteção Ambiental do Delta do rio Parnaíba são incipientes. Assim, objetivou-se caracterizar a estrutura, composição florística e ecológica de quatro bosques de manguezal em áreas regeneradas e conservadas do Delta do rio Parnaíba, Maranhão, nos municípios de Araióses e Água Doce, no total de 1,2 ha, entre fevereiro de 2017 e setembro de 2019. Os dados foram obtidos através de coletas de material botânico para análises taxonômico-morfométricos da forma foliar das espécies de *Avicennia*, dados fitossociológicos de biomassa e de sequestro de carbono dos bosques de mangue. A forma da folha é considerada diagnóstico para determinar as espécies *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* foi investigada em sete populações dos quatro bosques usando análise elíptica de Fourier de 627 folhas para obter sete variáveis de forma. Os principais tratam da largura relativa, a forma da base, a transição da forma de ovada até obovada. A forma foliar foi estatisticamente diferente nas duas espécies, mas só discrimináveis em bosques conservadas e altas. Em *A. germinans* a variação foi maior, de elíptica a ovada, com base aguda e ápice variando de agudo a acuminado, enquanto em *A. schaueriana* são obovadas com base atenuada e ápice arredondado. A largura relativa e a forma da base pesaram mais como caracteres de diferenciação entre as espécies e as folhas foram significativamente menores em *A. schaueriana*. Em *A. germinans*, as folhas tornaram-se mais ovadas com o aumento do tamanho na floresta conservada. Os táxons vernaculares siriba branca e siriba preta são inconsistentes com espécies científicas, mas apresentam formas de folhas significativamente diferentes em algumas populações. Para a florística e fitossociologia, dentro de cada dos quatro bosques de mangue, foram alocadas 30 parcelas múltiplas de forma sistemática 10 x 10 m cada uma, totalizando 1.2 ha total. A circunferência (altura de peito) e altura de toda árvore com altura igual ou superior a 1,30 m foram medidas e calculados os valores dos parâmetros fitossociológicos. Biomassa foi estimada usando equações alométricas já publicadas. Propriedades químicas e físicas de amostras do solo de cada área e da água dos rios próximos foram analisadas. O perfil climatológico para a região, analisado utilizando dados entre 1998 e 2018 se caracteriza por dois períodos bem definidos, seco (junho a dezembro) e chuvoso (janeiro a maio). As quatro áreas se apresentaram como distintos na estrutura e a distribuição das espécies, com maior desenvolvimento nas áreas conservadas. Foram registradas 2.636 árvores das espécies *Laguncularia racemosa* (1.276 indivíduos, Combretaceae), *Rhizophora mangle* (925 indivíduos, Rhizophoraceae), *Avicennia schaueriana* (264 indivíduos, Acanthaceae), *Avicennia germinans* (161 indivíduos, Acanthaceae) e *Conocarpus erectus* (10 indivíduos, Combretaceae). *Avicennia schaueriana* foi registrada pela primeira vez para a região deltaica. Os solos e a água dos rios próximos apresentaram perfis químicos e físicos diferentes. A área conservada em Araióses, quase exclusivamente composta de *R. mangle*, apresentou maior altura (média 31,7 m, máx. 45.0 m), diâmetro (DAP médio 24.4 cm) e biomassa (317.1 Mg/ha) A área em regeneração em Araióses (recuperação por 25 anos) se apresentou como a maior em diversidade florística (5 espécies) e densidade, mas o menor em altura, diâmetro e biomassa. Nas duas áreas de Água Doce, a área em regeneração (recuperação por 50 anos), havia mais semelhança na estrutura e na florística, sendo compostas de *R. mangle* e *Avicennia spp.* O principal estoque de biomassa é retido nos bosques mais altos. As quatro áreas subestimam a diversidade de tipos de manguezal do Delta. Maiores estudos são necessários para um mapeamento mais adequada, inclusive estudos da fragmentação dos

manguezais, para ajudar no monitoramento em larga escala da deterioração dos ecossistemas de mangues. Verificou-se que as duas espécies de *Avicennia* apresentam número considerável de estudos em termos prospectivos. Os EUA, seguido do Brasil, possuem os maiores números de estudos relacionados, iniciados na década de 1980, sendo estes em maior número pertencentes a área de Ciências Ambientais, o que corrobora com os dados aqui apresentados. Visto a importância do ecossistema manguezal, a divulgação dos resultados constituirá em uma alternativa para que a população e os órgãos ambientais possam utilizá-los como parâmetros, visto a necessidade de dados de natureza ecológica para a região, bem como demais estudos da ordem etnotaxonômicas e biologia molecular. Diversos estudos foram publicados sobre sequestro de carbono em manguezais (*Web of Science*=400 e *Scopus*=408), com número crescente a partir de 2011, que incluíam: avaliação de produtividade, quantificação de estoque de carbono, influência de fatores abióticos e, no caso de patentes, melhoramento da capacidade de fixação de carbono em manguezais. Conclui-se que as preocupações globais com as emissões de CO<sub>2</sub> e a busca por fontes para seu armazenamento na superfície terrestre tem colocado os manguezais em posição de destaque. O estoque de carbono vivo acima do solo foi estimado a partir de valores para a biomassa, nos quatro bosques. Os valores obtidos para o bosque mais alto na Ilha dos Poldros são parecidos aos já publicados para bosques de mangue em regiões equatoriais da Amazônia oriental brasileira e Gabão na África centro-oeste. Dado a diferença climática da região estudada, que sofre uma época seca anual bem marcada de 5 a 6 meses. Os resultados do estudo indicam a heterogeneidade no estoque de biomassa e de carbono a ser esperada em setores diferentes do Delta e destacam a necessidade para amostragens mais amplas para obter estimativas mais exatas. Para os fins de conservação, o estudo mostra que a porção do carbono e biomassa vivos acima do solo é muito maior nos bosques de mangue mais altos. O Delta do Parnaíba, tanto por incluir uma das maiores áreas protegidas de manguezal do Brasil, como por estar ainda em condição relativamente intacta e com proteção legal estabelecida sobre toda sua extensão, oferece um quadro favorável para estudos de maior escala e maior intensidade destas questões, importantes para sua manutenção como recurso local, regional e nacional.

Palavras chaves: *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, Biomassa, Estoque de carbono, Fitossociologia, Morfometria, Mudanças climáticas.

## ABSTRACT

### ECOLOGY, SYSTEMATICS AND CARBON STOCK IN MANGUEZAL AREAS OF THE DELTA DO PARNAÍBA, MARANHÃO, BRAZIL

Mangroves comprise a complex and heterogeneous ecosystem of great ecological, social and economic importance. Despite this, scientific studies of the species and ecological structure of the mangrove forests of the Environmental Protection Area Delta do Parnaíba are still in an early phase. The present study aimed to characterize the structure, floristic composition and ecology of four areas of conserved and regenerating mangrove forest in the Parnaíba Delta, Maranhão, in the municipalities of Araiões and Água Doce, making up a total area of 1.2 ha, based on fieldwork carried out between February 2017 and September 2019. The data were gathered from field investigations for taxonomic-morphometric analysis of leaf shape in species of *Avicennia*, data for phytosociological analysis, and for estimation of carbon stocks. Leaf shape, considered useful for identifying the species *Avicennia germinans* and *A. schaueriana*, was studied in seven populations from the four areas using elliptic Fourier analysis of 627 leaves to obtain seven shape variables. The major variables expressed relative width, base shape and the shape transition from ovate to obovate. Leaf shape was statistically different in the two species but they could only be reliably discriminated in tall conserved forest. Shape variation was greater in *A. germinans*; typically they are from elliptic to ovate with acute base and apex varying from acute to acuminate, while in *A. schaueriana* the leaves are typically obovate with attenuate base and rounded apex. Relative width and base shape are the most important differentiating shape features between the species, and the leaves are significantly smaller in *A. schaueriana*. In *A. germinans* the leaves become more ovate with greater size in conserved forest. The vernacular taxa siriba branca and siriba preta are inconsistent with the scientific species, but showed significantly different leaf shapes in some populations. For the floristic and phytosociological survey, within each of the four sample areas, 30 multiple plots, each 10 x 10 m, were systematically allocated, totalling 1.2 ha. Circumference at breast height (CBH) and height of all individual trees equal or greater than 1.30 m in height were measured, and the usual phytosociological parameters were then calculated. Biomass was estimated from published allometric equations. Chemical and physical properties of the soils of each sample area and of the adjacent water bodies were analysed. The climate of the study region, using historical monthly averages of precipitation recorded between 1998-2018 showed two well-defined annual seasons, dry (June to December) and rainy (January to May). The structural parameters and species composition varied among the four areas, with the greatest development in conserved areas. 2636 individual trees were recorded in three families, four genera and five species: *Laguncularia racemosa* (1276 individuals, Combretaceae), *Rhizophora mangle* (925 individuals, Rhizophoraceae), *Avicennia schaueriana* (264 individuals, Acanthaceae), *Avicennia germinans* (161 individuals, Acanthaceae) and *Conocarpus erectus* (10 individuals, Combretaceae). *Avicennia schaueriana* was recorded for the first time in the Delta region. Soil and water properties were distinct among the four areas. The conserved area in Araiões, almost exclusively composed of *R. mangle*, had the greatest height (mean 31.7 m, max. 45.0 m), diameter (mean DBH 24.4 cm) and biomass (317.1 Mg/ha). The 25-year regenerating area in Araiões had the greatest floristic diversity (5 species) and density, but was the smallest in height, diameter and biomass. The two areas in Água Doce, the regenerating area in recuperation for 50 years, were more similar in structure and floristics, composed of *R. mangle* and *Avicennia* spp. The tallest mangrove forest holds the greater part of the mangrove biomass. Although diverse, the four areas do not represent the full mangrove diversity of the Delta. Further studies are needed to provide adequate mapping, and also studies of forest fragmentation to help large scale monitoring of the deterioration of the mangrove ecosystem,

given the lack of this kind of data for the region. The study verified that there are a considerable number of published studies on the two species of *Avicennia*. The USA, followed by Brazil, has produced the greatest number since 1980, most being in the subject area of environmental science. Given the importance of the mangrove ecosystem the dissemination of results is important for the use of the population and environmental bodies as standards, in view of the need for ecological data in the region as well as new studies on ethnobiology and molecular biology. A range of studies have been published on carbon sequestration in mangroves (*Web of Science*=400 e *Scopus*=408), with numbers increasing since 2011, and they include topics such as productivity evaluation, quantification of carbon stocks, influence of abiotic factors, and in the case of patents, improvement in the carbon-fixing capacity in mangroves. These results show that global concern over CO<sub>2</sub> emissions and the search for terrestrial carbon storage sinks has focussed much attention on mangroves. Living above-ground carbon stocks were estimated from biomass estimates for the four mangrove study areas. The values obtained for the tallest forest area in the Ilha dos Poldros are similar to those published for mangroves in equatorial regions of eastern Brazilian Amazonia and for Gabon in west-central Africa, although the Delta experiences a well-marked 5-6 month dry season. The results indicate that a considerable heterogeneity is to be expected in different parts of the Delta and highlight the need for wider studies to obtain more exact estimates. For the purposes of conservation, the study confirms that most of the living above-ground carbon and biomass is held in the tallest mangrove forest. The Parnaíba Delta, both as one of the largest protected areas of mangrove in Brasil, and because it remains relatively intact, offers a very favourable situation for larger scale studies of the questions raised in the course of this study, which are important for the conservation of this magnificent local, regional and national natural resource.

**Key words:** *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, phytosociology, morphometrics, climate change, biomass, carbon stocks.

## RESUMEN

### ECOLOGÍA, SISTEMÁTICA Y SECUESTRO DE CARBONO EN ZONAS DE MANGLARES DEL DELTA DO PARNAÍBA, MARANHÃO, BRASIL

Los manglares componen un ecosistema complejo y heterogéneo con relevancia ecológica, social y económica. Sin embargo, los estudios sobre las especies y la estructura ecológica de los manglares que se encuentran en el Área de Protección Ambiental del Delta del Río Parnaíba son incipientes. De ese modo, el objetivo fue caracterizar la estructura, composición florística y ecológica de cuatro áreas de bosque de mangle en áreas regeneradas y conservadas del delta del río Parnaíba, Maranhão, en los municipios de Araíoses y Água Doce. en un total de 1,2 há entre febrero de 2017 y septiembre de 2019. Los datos se obtuvieron a través de recolecciones de material botánico para estudios taxonómicos, datos fitosociológicos, secuestro de carbono y estudios morfométricos de *Avicennia* spp. Para los análisis fueron utilizados los siguientes *softwares*: R a través de varios paquetes, *Past* y *Fitopac*, además de la recolección de datos para estudios prospectivos relacionados con la temática. Fueron registrados 2.636 individuos pertenecientes a tres familias, cuatro géneros y cinco especies: *Laguncularia racemosa* (1276 individuos, Combretaceae); *Rhizophora mangle* (925), *Rhizophoraceae*; *Avicennia schaueriana* (264 individuos, Acanthaceae), *Avicennia germinans* (161), Acanthaceae) y *Conocarpus erectus* (10 individuos, Combretaceae). La frecuencia de individuos pertenecientes a la categoría DAP de 1 a 10 cm fue la más alta, a la medida que aumentaba el DAP. *Rhizophora mangle* mostró mayor altura y DAP. Los parámetros estructurales y la distribución de especies variaron entre las áreas analizadas, con mayor desarrollo estructural en las áreas conservadas. La climatología y el nivel de antropización son factores que influyen en la ocurrencia de especies y diferencias estructurales entre las cuatro áreas de bosque de mangle. El molde de la hoja se considera diagnóstica para la determinación de especies en *Avicennia*, tanto para los taxonomistas como para los expertos locales. El análisis elíptico de Fourier de 627 hojas proporcionó datos para el tamaño del centroide y siete variables de forma, que representan el 99% de la variación total. Existe una variación en el ancho relativo y la forma de la base predominante entre las especies. La variación ovada / ovoide predominó en especies, especialmente entre poblaciones conservadas y en regeneración. Las hojas se presentaron significativamente más pequeñas en *A. schaueriana*. En *A. germinans*, las hojas eran más ovoides a la medida que aumentaba el tamaño en el bosque conservado, mientras que en *A. schaueriana* no hubo cambios constantes de tamaño. Sumado a estos datos, también se encontró que las dos especies presentan un número considerable de estudios en términos prospectivos. Estados Unidos, seguido de Brasil, tiene el mayor número de estudios relacionados, iniciados en la década de 1980, con los de mayor número siendo pertenecientes al área de Ciencias Ambientales, lo que corrobora los datos aquí presentados. Fue registrado una nueva especie para región de delta. Teniendo en vista la importancia del ecosistema de mangle, la difusión de los resultados constituirá una alternativa para que la población y las agencias ambientales los puedan utilizar como parámetros, dada la necesidad de datos ecológicos para la región, así como otros estudios de orden etnotaxonómico y biología molecular.

Palabras clave: *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, Biomasa, cambio climático, fitosociología, morfometría, Reserva de carbono.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Revisão bibliográfica

- Figura 1 - Configuração aproximada dos continentes ao final do Cretáceo. As setas (na costa) indicam possíveis rotas de dispersão de *Rhizophora mangle* (L) e *Avicennia* spp. Chapman representou com a letra M (na placa da Laurasia) como possível centro de origem desses gêneros..... 39
- Figura 2 - Distribuição global dos manguezais. Acima dos limites para todas as espécies. Na parte inferior, apresentando o número aproximado de espécies de manguezal a cada 15° de longitude. .... 40
- Figura 3 - Distribuição dos Manguezais do Brasil. .... 45
- Figura 4 - Mapa do manguezal em trecho do Litoral Norte do Brasil, com ênfase no litoral do Maranhão. .... 49
- Figura 5 - Localização da APA Delta do Parnaíba, evidenciando áreas de manguezal em sua porção norte, Brasil..... 57

### Manuscrito 1: Análise elíptica de Fourier das diferentes formas foliares em *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* no Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil

- Figura 1 - Mapa de localização das quatro áreas estudadas dos municípios de Araiões e Água Doce, estado do Maranhão, na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil, utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS (2000), dados de ICMbio e IBGE (2019): 1. América do Sul com destaque para o Brasil, em branco; 2 – Municípios de Água Doce do Maranhão à esquerda e Araiões, à Direita, em vermelho a delimitação da APA Delta do Parnaíba; em amarelo estão os pontos correspondendo as quatro áreas em seus respectivos municípios; 3 – Áreas em imagem de satélite aproximada correspondente ao Município de Água Doce do Maranhão; A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); 4 – Áreas em imagem de satélite aproximada correspondente Município de Araiões; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros). .... 86
- Figura 2 - Variação foliar em todas as populações de *Avicennia* spp. ao longo das sete áreas. A: *A. schaueriana*, Água Doce, regeneração, siriba branca. B-C: *A. schaueriana*, Água Doce, conservada, siriba branca. D, E, F: *A. germinans*, Água Doce, conservada, siriba preta. G, H, I, J, K, L: *A. germinans*, Araiões, regeneração, siriba branca. M-N: *A. germinans*, Araiões, regeneração, siriba preta. O-P: *A. schaueriana*, Araiões, conservada, siriba preta. Q, R, S: *A. germinans*, Araiões, conservada, siriba branca. .... 87
- Figura 3 - Representação da organização das folhas por indivíduos para captura de contorno em software tpsDig2. .... 90
- Figura 4 - Detalhe da estrutura das flores das espécies tratadas neste estudo. Detalhes da morfologia floral em *Avicennia schaueriana* e *A. germinans*. A - B: Flores abertas de *A. schaueriana* mostrando corola de superfície glabra internamente e



	projetando discretamente os estames. C: Flor aberta de <i>A. germinans</i> mostrando pubescência da superfície interna. D - E: Flores abertas de <i>A. germinans</i> mostrando projeção mais conspícua de estiletos e estames. .... 94
Figura 5 -	Tendências das formas dos sete primeiros componentes principais, expressas como a forma média (coluna 0) e as formas correspondentes aos valores de CP em $\pm 1$ e $\pm 2$ desvios padrão em cada lado da forma média. .... 98
Figura 6 -	Tendências de forma dos quatro primeiros componentes principais, expressas como a forma média (coluna 0) e as formas correspondentes aos valores de PC em $\pm 1$ e $\pm 2$ desvios padrão em cada lado da forma média. Os PCs 1 e 3 são tendências de variação de forma simétrica e 2 e 4 assimétricos. O ápice da folha fica no lado direito de cada contorno. .... 99
Figura 7 -	Ordenação dos principais componentes 1 e 2. PCA da forma do contorno da folha em 627 indivíduos de <i>Avicennia</i> , com base em uma matriz de 36 coeficientes elípticos de Fourier (9 harmônicos). .... 100
Figura 8 -	Ordenação dos principais componentes 1 e 2. PCA da forma do contorno da folha em 627 indivíduos de <i>Avicennia</i> , com base em uma matriz de 36 coeficientes elípticos de Fourier (9 harmônicos). .... 101
Figura 9 -	Análise em KNN para verificação de todas espécies, de acordo com os modelos. .... 103
Figura 10 -	Modelo 1. Boxplots os valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) entre <i>Avicennia germinans</i> (L.) Stearn (n = 357) e <i>A. schaueriana</i> Stapf & Leechm. ex Moldenke (n = 270). .... 104
Figura 11 -	Ordenação do componente principal das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variância total) em <i>Avicennia germinans</i> (germina, n = 357) e <i>A. schaueriana</i> (schauer, n = 270). .... 105
Figura 12 -	Variação da forma da folha nas ordenações dos componentes principais das variáveis simétricas da forma CP1 e CP3. O gráfico da esquerda: <i>A. schaueriana</i> ; trama da direita: <i>A. germinans</i> . Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos CP dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo. .... 106
Figura 13 -	Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) entre <i>Avicennia germinans</i> (n = 90) e <i>A. schaueriana</i> (n = 90). Dados de Mangueirão - área conservada no município de Água Doce do Maranhão. .... 107
Figura 14 -	Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variação total) mostrando as distribuições de populações conservadas de <i>Avicennia germinans</i> (preto, cagdocCongermina, n = 90) e <i>A. schaueriana</i> (vermelho, agdocConschauer, n = 90) plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados. Dados de Mangueirão - área conservada no município de Água Doce. Os indivíduos pertencentes a todas as outras populações definidas são evidenciadas em cinza e rotulados como "incomodam" e "outros". .... 108
Figura 15 -	Variação da forma da folha nas ordenações dos componentes principais das variáveis simétricas da forma PC1 e PC3. O gráfico da esquerda: <i>Avicennia</i>

*schaueriana*; trama da direita: *A. germinans*. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos PC. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo. Dados de Mangueirão - área conservada no município de Água Doce. .... 108

- Figura 16 - Ordenação do componente principal das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variância total) mostrando as distribuições de *Avicennia germinans* (preto, poldrogermina, n = 87) e *A. schaueriana* (vermelha, poldroschauer, n = 90) plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados. .... 110
- Figura 17 - Variação da forma da folha nas ordenações dos componentes principais das variáveis simétricas da forma PC1 e PC3. O Gráfico da esquerda: *A. schaueriana*; figura da direita: *A. germinans*. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos PC dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo. Dados da Ilha dos Poldros - área conservada no município de Araisos..... 110
- Figura 18 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em *Avicennia schaueriana* entre áreas conservadas (n = 90) e regeneradas (n = 90) no município de Água Doce do Maranhão. .... 112
- Figura 19 - Ordenação do componente principal de variáveis de forma de *Avicennia schaueriana* em áreas conservadas (em preta, aguadocSul, n = 90) e regenerada (em vermelha, aguadocNor, n = 90) no município de Água Doce. Figura superior: ordenação das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (totalizando 84,53% da variância total). Figura inferior: ordenação das variáveis de forma assimétricas de CP2 e CP3 simétricas (totalizando 16,59% da variância total). Indivíduos pertencentes a todas as outras populações definidas são mostradas em cinza e rotulados como "outros". .... 113
- Figura 20 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros PCs) em *Avicennia germinans* entre áreas conservadas (n = 87) e regeneradas (n = 180) no município de Araisos..... 114
- Figura 21 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variância total) de *Avicennia germinans* em Araisos, mostrando as distribuições de áreas conservadas (vermelha, poldrogermina, n = 87) e regeneradas (preta, barreirgermina, n = 180) plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados. .... 115
- Figura 22 - Variação da forma foliar de *Avicennia germinans* em duas áreas de manguezal no município de Araisos. Das ordenações de componentes principais das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3. Gráfico à esquerda: área regenerada; mostra em lado direito: área conservada. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha próxima da mediana da articulação dos dois eixos PC dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo. .... 116
- Figura 23 - Boxplots mostrando diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em *Avicennia schaueriana* entre as áreas conservadas nos municípios de Água Doce (n = 90) e Araisos (n = 90). .... 117

- Figura 24 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variância total) de *Avicennia schaueriana*, comparando indivíduos de áreas conservadas em Água Doce (em preto, n = 90) e Araiões (em vermelho, n = 90) municípios, plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados. .... 118
- Figura 25 - Ordenação dos principais componentes das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variação total) de *Avicennia germinans* comparando plantas de áreas conservadas nos municípios de Água Doce (em preto, n = 90) e Araiões (em vermelho, n = 87), plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados. .... 119
- Figura 26 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em *Avicennia germinans* entre as áreas conservadas nos municípios de Água Doce do Maranhão (n = 90) e Araiões (n = 87). .... 120
- Figura 27 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em três populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares nos conservados (Siriba Branca, n = 87) e regenerados (Siriba Branca, n = 90, Siriba Preta, n = 90) no município de Araiões. .... 122
- Figura 28 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variância total) de *Avicennia germinans* comparando plantas de três populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares nas áreas conservadas (em azul, Siriba Branca, n = 87) e áreas regeneradas (em preta, Siriba Branca, n = 90; vermelha, Siriba Preta, n = 90) no município de Araiões; plotados no espaço do componente principal (PC) do conjunto de dados. .... 123
- Figura 29 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) nas duas populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares, área regenerada no município de Araiões (Siriba Branca, n = 90, Siriba Preta, n = 90). .... 125
- Figura 30 - Variação da forma das folhas de *Avicennia germinans* comparando plantas de duas populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares nas áreas regeneradas do município de Araiões (Siriba Branca, n = 90; Siriba Preta, n = 90). Das ordenações de componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3. Variações à esquerda: Siriba Branca; variações à direita: Siriba Preta. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos CP dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo. .... 126
- Figura 31 - Boxplots mostrando diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em todos os indivíduos de *Avicennia* spp. entre os municípios de Água Doce (n = 270) e Araiões (n = 357). .... 128
- Figura 32 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variância total) de todos os indivíduos de *Avicennia* spp. comparando as ocorridas nos municípios de Água Doce (em preto, n = 270) e Araiões (em vermelho, n = 357), plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados. .... 129

- Figura 33 - Variação da forma da folha de *Avicennia* spp. comparando entre áreas em dois municípios diferentes. Das ordenações de componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3. Variações à esquerda: Água Doce; variações à direita: Araiões. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos CP dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo. .... 129
- Figura 34 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em todos indivíduos de *Avicennia* spp. entre áreas conservadas (n = 357) e regeneradas (n = 270). .... 131
- Figura 35 - Ordenação do componente principal das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variância total) de todos os indivíduos de *Avicennia* spp. comparando aqueles que ocorrem nas áreas conservada (preta, n = 357) e regenerada (vermelha, n = 270), plotadas no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados. .... 132
- Figura 36 - Variação da forma da folha de *Avicennia* spp. comparando entre áreas de mangue em dois estados diferentes de conservação. Das ordenações de componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3. Gráfico à esquerda: áreas conservadas; gráfico à direita: áreas regeneradas. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos PC dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentuais 10, 50 e 90 de cada eixo. .... 132
- Figura 37 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) nas sete populações definidas no estudo: agGerCon = área conservada de Água Doce *Avicennia germinans*; agSchCon = área conservada de Água Doce *Avicennia schaueriana*; agSchReg = área regenerada da Água Doce *A. schaueriana*; baGerBraReg = Área regenerada de Araiões *A. germinans* Siriba Branca; baGerPreReg = Área regenerada de Araiões *A. germinans* Siriba Preta; PoGerCon = área conservada de Araiões *A. germinans*; PoSchCon = Área conservada de Araiões *A. schaueriana*..... 134
- Figura 38 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variância total) das sete populações definidas no estudo: área conservada agGerCon = Água Doce *Avicennia germinans* (n = 90); agSchCon = área conservada de Água Doce *A. schaueriana* (n = 90); agSchReg = área regenerada da Água Doce *A. schaueriana* (n = 90); baGerBraReg = Área regenerada de Araiões *A. germinans* Siriba Branca (n = 90); baGerPreReg = Área regenerada de Araiões *Avicennia germinans* Siriba Preta (n = 90); PoGerCon = área conservada de Araiões *Avicennia germinans* (n = 87); PoSchCon = Área conservada de Araiões *Avicennia schaueriana* (n = 90). 135

**Manuscrito 2:** Heterogeneidade estrutural em bosques de manguezal em áreas regeneradas e conservadas do Delta do rio Parnaíba, Maranhão, Brasil

- Figura 1 - Contexto geral das quatro áreas estudadas dos municípios de Araiões e Água Doce do Maranhão, estado do Maranhão, na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil, utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS (2000), ICMbio e IBGE (2019): 1- América do Sul com

	destaque para o Brasil, em branco; 2 – Municípios de Água Doce do Maranhão a esquerda e Araiões, à Direita, em vermelho a delimitação da APA Delta do Parnaíba; em vermelho estão os pontos correspondendo as quatro áreas em seus respectivos municípios.....	159
Figura 2 -	Contexto da parte mais ocidental da APA do Delta do Parnaíba, mostrando Áreas de estudo (A, B, C, D), locais de outros estudos e indicando áreas urbanas e tipos de paisagens relevantes. Imagem do fundo de Google Earth Pro (2021). .....	160
Figura 3 -	Contexto maranhense das áreas de coletas em escala maior, mostrando o contraste entre fisionomias de mangue e dunas ativas e fixas, o continente terciário da região, e os limites municipais, Maranhão, Nordeste do Brasil. Figura feita utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS (2000), e imagem do satélite Landsat 8 do ano de 2020. Em vermelho estão os pontos correspondendo as quatro áreas em seus respectivos municípios (veja Figuras em seguida para mais detalhes).....	160
Figura 4 -	Áreas correspondente ao Município de Água Doce do Maranhão. A: Área Conservada. B: Área em regeneração (salina desativada). Parcelas amostradas indicados como quadrados brancos recheios (10 x 10 m) nas grades estabelecidas (100 x 120 m) para cada área no campo. Parcelas na mesma escala da imagem do fundo (Google Earth Pro 2021).....	162
Figura 5 -	Fisionomia da vegetação da Área A, bosque de mangue conservado no município de Água Doce de Maranhão, Maranhão, localizado próximo ao tabuleiro terciário do continente e à cidade de Água Doce de Maranhão.....	163
Figura 6 -	Fisionomia da vegetação da Área B, bosque de mangue no município de Água Doce de Maranhão, Maranhão, antiga salina em processo de regeneração durante aproximadamente 50 anos. Localizado próximo ao tabuleiro terciário do continente e à cidade de Água Doce de Maranhão. ....	164
Figura 7 -	Áreas pertencentes ao Município de Araiões no seu contexto mais geral. C: Área em regeneração (Barreiras, salina desativada). D: Área Conservada (Ilha dos Poldros). Áreas de floresta de mangue são de verde mais escuro. Notável é o assoreamento progressivo do Rio dos Poldros pelo campo de dunas e as áreas de mangue morto a leste da Área D. Imagem de base do Google Earth Pro (2021). ....	165
Figura 8 -	Área C (Barreiras, salina desativada) pertencente ao Município de Araiões, mostrando local das parcelas. Parcelas amostradas indicados como quadrados brancos recheios (10 x 10 m) nas grades estabelecidas (100 x 120 m) para cada área no campo. Parcelas na mesma escala da imagem do fundo (Google Earth Pro 2021).....	166
Figura 9 -	Fisionomia da vegetação da Área C, bosque de mangue no município de Araiões, Maranhão, Ilha das Barreiras; antiga salina em processo de regeneração durante aproximadamente 25 anos. Localizado próximo à linha da costa. ....	167
Figura 10 -	Área D (Ilha dos Poldros) pertencente ao Município de Araiões, mostrando local das parcelas, com áreas (cinzas) entremeadas de floresta morta. Parcelas amostradas indicadas como quadrados brancos recheios (10 x 10 m) nas grades estabelecidas (100 x 120 m) para cada área no campo. Parcelas na mesma escala da imagem do fundo (Google Earth Pro 2021).....	168

Figura 11 -	Fisionomia da vegetação da Área D, bosque de mangue no município de Araiões, Maranhão, na Ilha dos Poldros; área conservada de floresta alta, com as árvores maiores de <i>Rhizophora mangle</i> atingindo alturas excedendo 40 m. Localizado próximo à linha da costa.....	169
Figura 12 -	Localização dos onze estudos incluídos na comparação multivariada de 39 bosques de mangue. Veja texto para maiores detalhes. ....	175
Figura 13 -	Médias históricas de precipitação (mm) ao longo dos meses de janeiro a dezembro, durante o período de 1998- 2018 para a região da APA Delta do Parnaíba.....	177
Figura 14 -	Espécies arbóreas ocorrentes nas áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão. A - <i>A. germinans</i> ; B- <i>Conocarpus erectus</i> ; C - <i>A. schaueriana</i> ; D - <i>Laguncularia racemosa</i> ; E – F - <i>Rhizophora mangle</i> .....	179
Figura 15 -	Distribuição do número de indivíduos por classes de altura (m) e classes de diâmetro (cm), a intervalos fixos de 10 m e 10cm, respectivamente, nas áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão.....	180
Figura 16 -	Boxplots da separação das alturas por espécies englobando todas às áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão. As siglas estão de acordo com os dados em Tabela 3.....	181
Figura 17 -	Distribuição dos diâmetros por espécies englobando todas às áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão. As siglas estão de acordo com os dados em Tabela 3.....	182
Figura 18 -	Área basal por espécies englobando todas às áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão. As siglas estão de acordo com os dados em Tabela 3. .	183
Figura 19 -	Distribuição do número de indivíduos por classes de altura (m) e classes de diâmetro (cm) por áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão.....	184
Figura 20 -	Dendrograma da estrutura fitossociológica gerado a partir do Índice de similaridade de Jaccard entre as quatro áreas estudadas: A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); Áreas correspondente ao Município de Araiões; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros), amostradas pela análise de cluster UPGMA utilizando programa PAST. ....	186
Figura 21 -	Dendrograma gerado a partir do índice de a similaridade de Jaccard entre as áreas estudadas: A: B; C e D: A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); Áreas correspondente ao Município de Araiões; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros), de acordo com a ocorrência de espécies amostradas pela análise de cluster UPGMA utilizando programa PAST. ....	187
Figura 22 -	Agrupamento de áreas quatro áreas estudadas: A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); Áreas correspondente ao Município de Araiões; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros) de acordo com os índices amostrados...	188
Figura 23 -	Distribuição individual das árvores de cada área amostrada de acordo com quatro principais parâmetros estruturais. ....	192
Figura 24 -	Distribuição de diâmetro individual (cm), por classes de 1 cm, nas quatro áreas amostradas.....	195

Figura 25 -	Distribuição de altura individual (m), por classes de 1 m, nas quatro áreas amostradas.....	196
Figura 26 -	Distribuição de biomassa individual (kg), por classes de 20 kg, nas quatro áreas amostradas.....	197
Figura 27 -	Abundância das espécies em cada área. count = número de indivíduos por Área, indicados em cima de cada barra. avic = <i>Avicennia</i> spp. conoerac = <i>Conocarpus erectus</i> . lagrac = <i>Laguncularia racemosa</i> . rhizman = <i>Rhizophora mangle</i> ....	199
Figura 28 -	Diâmetro (cm) dos indivíduos das espécies em cada área. O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). avic = <i>Avicennia</i> spp. conoerac = <i>Conocarpus erectus</i> . lagrac = <i>Laguncularia racemosa</i> . rhizman = <i>Rhizophora mangle</i> . ....	200
Figura 29 -	Altura (m) dos indivíduos das espécies em cada área. O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). avic = <i>Avicennia</i> spp. conoerac = <i>Conocarpus erectus</i> . lagrac = <i>Laguncularia racemosa</i> . rhizman = <i>Rhizophora mangle</i> . ....	201
Figura 30 -	Área basal (cm <sup>2</sup> ) dos indivíduos das espécies em cada área (todas de 0.3 ha). O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). ....	202
Figura 31 -	Biomassa (Mg) dos indivíduos das espécies em cada área (todas de 0.3 ha). O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). avic = <i>Avicennia</i> spp. conoerac = <i>Conocarpus erectus</i> . lagrac = <i>Laguncularia racemosa</i> . rhizman = <i>Rhizophora mangle</i> . ....	203
Figura 32 -	Ordenação dos componentes principais de 39 bosques de mangue no Brasil e Guiana Francesa. As categorias da classificação de Magris & Barreto (2010) são indicados por cores – preto: "macrotidal", laranja: Guiana, magenta: "mesotidal". Os nomes dos pontos são os códigos para cada bosque de mangue (veja Tabela 2). ....	206
Figura 33 -	Ordenação dos componentes principais de 39 bosques de mangue no Brasil e Guiana Francesa. As categorias da classificação de Magris & Barreto (2010) são indicados por cores – preto: "macrotidal", laranja: Guiana, magenta: "mesotidal". As linhas do biplot indicam a influência relativa (cargas) de cada variável nos eixos componentes principais (veja Tabela 2 para explicações dos códigos das variáveis). As setas indicam os pontos representando as quatro Áreas do presente estudo.....	207
Figura 34 -	Análise de componentes principais das variáveis químicas das amostras de solo das quatro áreas. Veja Tabela 12 para explicações maiores das variáveis. ....	208
Figura 35 -	Análise de componentes principais das variáveis físicas das amostras de solo das quatro áreas. ....	210
Figura 36 -	Análise de componentes principais (ACP) de amostras da água do Rio Água Doce (pontos cor de laranja) e do Rio dos Poldros (pontos pretos). Biplot mostra a influência das variáveis (linhas verdes) nos valores ao longo de cada	

	componente principal. Veja Tabela 15 (Apêndice) para explicação dos nomes das variáveis.....	213
Figura 37 -	Análise de discriminante linear (LDA) de amostras da água do Rio Água Doce (pontos cor de laranja) e do Rio dos Poldros (pontos pretos). A. Biplot mostra a influência das variáveis (linhas verdes) nos valores ao longo de cada eixo discriminante. B. Os grupos mostram os locais de amostragem (enumerados), em preamar ou baixa-mar, durante 12 meses (pontos individuais). Veja Tabela 15 (Apêndice) para explicação dos nomes das variáveis.....	215

### **Manuscrito 3:** Mapeamento científico e tecnológico de espécies de *Avicennia* spp.

Figura 1 -	Evolução anual de artigos indexados na Web of Science com a palavra-chave “ <i>Avicennia germinans</i> ” de 1981 a 2020.....	243
Figura 2 -	Distribuição das publicações indexadas por país na base Web of Science com a palavra-chave “ <i>Avicennia germinans</i> ” de 1981 a 2020. ....	244
Figura 3 -	Distribuição das publicações indexadas por áreas de pesquisa na base Web of Science com a palavra-chave “ <i>Avicennia germinans</i> ” de 1981 a 2020. ....	244
Figura 4 -	Evolução anual de artigos indexados na Web of Science com a palavra-chave “ <i>Avicennia schaueriana</i> ” de 1981 a 2020.....	245
Figura 5 -	Distribuição das publicações indexadas por país na base Web of Science com a palavra-chave “ <i>Avicennia schaueriana</i> ” de 1981 a 2020. ....	246
Figura 6 -	Distribuição das publicações indexadas por áreas de pesquisa na base Web of Science com a palavra-chave “ <i>Avicennia schaueriana</i> ” de 1981 a 2020. ....	247
Figura 7 -	Evolução anual de depósitos na WIPO com a palavra-chave “ <i>Avicennia</i> ” de 2006 a 2019.....	248
Figura 8 -	Distribuição por CIP de patentes depositadas na WIPO com a palavra-chave “ <i>Avicennia</i> ” de 2006 a 2020.....	248
Figure 9 -	Mapeamento de termos relevantes relacionados a <i>Avicennia germinans</i> . ....	249
Figura 10 -	Mapeamento de termos relevantes relacionados ao termo “ <i>Avicennia schaueriana</i> ”.....	250

### **Manuscrito 4 -** Cenário dos estudos em sequestro de carbono em áreas de manguezal

Figura 1 -	Evolução do número de artigos indexados nas bases Web of Science e Scopus utilizando como descritor “ <i>Carbon Sequestration AND Mangrove</i> ” entre 1992 a 2020.....	264
Figura 2 -	Distribuição de artigos por país indexados nas bases Web of Science utilizando o descritor “ <i>carbon sequestration AND mangrove</i> ”.....	266
Figura 3 -	Número de artigos indexados na base de patentes WIPO e EPO utilizando como descritor “ <i>carbon sequestration AND forest</i> ” por ano de depósito. ....	268
Figura 4 -	Mapeamento de termos relevantes relacionados a “ <i>Mangrove</i> ”.....	269



Figura 5 -	Mapeamento de termos relevantes relacionados a “ <i>Carbon stock</i> ”.....	270
------------	---	-----

**Manuscrito 5** - Contribuição para a avaliação de biomassa e carbono estocados em bosques de mangue do Delta do Parnaíba, Maranhão, Brasil

Figura 1 -	Mapa de localização das quatro áreas estudadas dos municípios de Araisos e Água Doce, Estado do Maranhão, na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS (2000), dados de ICMbio e IBGE (2019): 1. América do Sul com destaque para o Brasil, em branco; 2 – Municípios de Água Doce do Maranhão à esquerda e Araisos, à Direita, em vermelho a delimitação da APA Delta do Parnaíba; em amarelo estão os pontos correspondendo as quatro áreas em seus respectivos municípios; 3 – Áreas em imagem de satélite aproximada correspondente ao Município de Água Doce do Maranhão; A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); 4 – Áreas em imagem de satélite aproximada correspondente Município de Araisos; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros). ....	280
Figura 2 -	Densidade de carbono estocado em cada Área estudada, em Mg/ha. As barras de erro indicam os 95% limites de confiança computados por análise "bootstrap" dos dados observados de cada área (10.000 replicações). ....	285
Figura 3 -	Biomassa (Mg) dos indivíduos das espécies em cada área (0.3 ha: A, C, D; 0.28 ha: B). O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). avic = <i>Avicennia</i> spp. conoerac = <i>Conocarpus erectus</i> . lagrac = <i>Laguncularia racemosa</i> . rhizman = <i>Rhizophora mangle</i> . ....	286

**Manuscrito 6** - Climatologia para o Município de Parnaíba, Piauí/Brasil

Figura 1 -	Localização do município de Parnaíba, Piauí, Brasil. ....	296
Figura 2 -	Médias de precipitação (mm) ao longo dos meses de janeiro a dezembro, durante o período de 1962-2017 para o município de Parnaíba, Piauí. ....	299
Figura 3 -	Precipitação registrados, pelo INMET, entre 1962 a 2017 para o município de Parnaíba, PI. ....	300
Figura 4 -	Somas totais das precipitações ao longo dos anos para o município de Parnaíba, PI. ....	301
Figura 5 -	Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência dos dados do Monitoramento dos Focos Ativos nos estados do Brasil: Piauí do CPTEC entre os anos de 1998-2017. ....	305

## LISTA DE TABELAS

**Manuscrito 1** - Análise elíptica de Fourier das diferentes formas foliares em *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* no Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil

Tabela 1 -	Detalhes das sete populações definidas para <i>Avicennia</i> spp. ....	88
Tabela 2 -	Populações de <i>Avicennia</i> L. utilizadas para este estudo, APA, Maranhão, Brasil. ....	95
Tabela 3 -	Modelos analíticos utilizados para comparar as formas das folhas dos indivíduos mostrados de <i>Avicennia</i> . ....	96
Tabela 4 -	AutoValores de cada variável de forma do componente principal mostrados como proporção da variação total da forma da folha e as relações de simetria das tendências e variação de forma expressas por cada variável. ....	97
Tabela 5 -	Modelo 1. Comparação das variáveis de forma foliar entre <i>Avicennia germinans</i> (n = 357) e <i>A. schaueriana</i> (n = 270); dados agrupados de todos os indivíduos. ....	101
Tabela 6 -	Modelo 2A. Comparação das variáveis de forma foliar entre <i>Avicennia germinans</i> (n = 90) e <i>A. schaueriana</i> (n = 90). Dados de Mangueirão - área conservada no município de Água Doce.....	106
Tabela 7 -	Modelo 2B. Comparação das variáveis de forma foliar entre <i>Avicennia germinans</i> (n = 87) e <i>A. schaueriana</i> (n = 90). Dados da Ilha dos Poldros - área conservada no município de Araiões.....	109
Tabela 8 -	Modelo 3A. Comparação de variáveis de forma foliar de <i>Avicennia schaueriana</i> em áreas conservadas (n = 90) e regeneradas (n = 90) no município de Água Doce do Maranhão. ....	111
Tabela 9 -	Modelo 3B. Comparação de variáveis de forma foliar de <i>Avicennia germinans</i> em áreas conservadas (n = 87) e regeneradas (n = 180) no município de Araiões. ....	114
Tabela 10 -	Modelo 4A. Comparação das variáveis de forma da folha de <i>Avicennia schaueriana</i> em áreas conservadas nos municípios de Água Doce (n = 90) e Araiões (n = 90).....	117
Tabela 11 -	Modelo 4B. Comparação das variáveis de forma foliar de <i>Avicennia germinans</i> em áreas conservadas nos municípios de Água Doce (n = 90) e Araiões (n = 87). ....	119
Tabela 12 -	Modelo 5A. Comparação das variáveis de forma da folha de <i>Avicennia germinans</i> em três populações de <i>Avicennia germinans</i> reconhecidas com nomes vernaculares nas áreas conservadas (Siriba Branca, n = 87) e regeneradas (Siriba Branca, n = 90, Siriba Preta, n = 90) em Araiões.....	121
Tabela 13 -	Modelo 5B. Comparação das variáveis de forma da folha de <i>Avicennia germinans</i> em duas populações de <i>Avicennia germinans</i> reconhecidas com nomes vernaculares na área regenerada (Ilha das Barreiras) do município de Araiões (Siriba Branca, n = 90, Siriba Preta, n = 90).....	124
Tabela 14 -	Modelo 6. Comparação das variáveis de forma da folha em todos os indivíduos de <i>Avicennia</i> spp. entre os municípios de Água Doce (n = 270) e Araiões (n = 357). ....	127

Tabela 15 -	Modelo 7. Comparação das variáveis de forma da folha em todos os indivíduos de <i>Avicennia</i> spp. entre áreas conservadas (n = 357) e regeneradas (n = 270). .....	130
Tabela 16 -	Modelo 8. Comparação das variáveis de forma da folha nas sete populações definidas no estudo (consulte a Tabela 1 para obter detalhes das populações). .....	136

**Manuscrito 2 - Heterogeneidade estrutural em bosques de manguezal em áreas regeneradas e conservadas do Delta do rio Parnaíba, Maranhão, Brasil**

Tabela 1 -	Características das quatro áreas estudadas no Delta do Parnaíba maranhense, Brasil. ....	161
Tabela 2 -	Coordenadas geográficas e descrição dos pontos de coleta de água nos rios Água Doce e dos Poldros, Maranhão, Brasil. ....	172
Tabela 3 -	Registro florístico das espécies ocorrentes nas áreas estudadas em Água Doce e Araióses, Maranhão. ....	178
Tabela 4 -	Variáveis fitossociológicas distribuídas nas áreas de mangue estudadas em Água Doce e Araióses, Maranhão. Área total amostrada (A) = 1.2 ha. Área de cada subárea amostrada (SA) = 0.3 ha. *Avic: <i>Avicennia germinans</i> + <i>A. schaueriana</i> , valores juntados; Cono: <i>Conocarpus erectus</i> ; Lagrac: <i>Lagenocarpus racemosa</i> ; Rhiz: <i>Rhizophora mangle</i> . ....	190
Tabela 5 -	Características geográficas e ecológicas das quatro áreas estudadas. ....	191
Tabela 6 -	Teste de Dunn para comparações múltiplas dos valores de número de indivíduos por parcela entre áreas (Fig. 23a). Área A: Conservado próximo ao continente. Área B: Em regeneração por aprox. 50 anos. C: Em regeneração por aprox. 25 anos. D: Aconservado próximo ao oceano. Valores de significância P em cochetes. Valores principais são a z-estatística de Dunn para cada comparação. n.s.: sem diferença. * diferença significativa. ....	193
Tabela 7 -	Teste de Dunn para comparações múltiplas dos valores de diâmetro (DAP) dos indivíduos nas áreas (Fig. 23b). Veja legenda de Tabela 6 para maiores detalhes. ....	193
Tabela 8 -	Teste de Dunn para comparações múltiplas dos valores de altura dos indivíduos nas áreas (Fig. 23c). ....	193
Tabela 9 -	Teste de Dunn para comparações múltiplas dos valores de biomassa dos indivíduos nas áreas (23d). ....	193
Tabela 10 -	Variáveis fitossociológicas obtidas por espécie em cada subárea amostrada de 0,3 hectare. *Avic: os dados das duas espécies de <i>Avicennia</i> ( <i>A. germinans</i> e <i>A. schaueriana</i> ) são combinados. ....	198
Tabela 11 -	Porcentagem de atribuições incorretas pela validação cruzada usando classificação computacional " <i>k-nearest neighbour</i> " em quatro categorizações de manguezais. Veja texto para maiores detalhes. ....	204
Tabela 12 -	Variáveis químicas analisadas do solo dos quatro bosques de mangue estudados. ....	209

Tabela 13 - Variáveis físicas analisadas do solo dos quatro bosques de mangue estudados. ....211

Tabela 14 - Valores mínimos, médios, desvio padrão e máximos das variáveis físico-químicas da água dos rios Água Doce e dos Poldros, no período de julho/2017 a junho/2018, Maranhão, Brasil.....212

### **Manuscrito 3 - Mapeamento científico e tecnológico de espécies de *Avicennia* spp.**

Tabela 1 - Número de artigos indexados por bases científicas envolvendo diferentes descritores para *Avicennia*. ....242

### **Manuscrito 4 - Cenário dos estudos em sequestro de carbono em áreas de manguezal**

Tabela 1 - Número de artigos e patentes de acordo com vários descritores utilizados nas diferentes bases. ....263

Tabela 2 - Distribuição dos artigos utilizando o descritor “*Carbon Sequestration AND Mangrove*” por área de interesse indexados na base Scopus. ....267

Tabela 3 - Patente depositada na base de dados da WIPO e EPO utilizando os termos “*carbon stock AND mangrove*”.....267

### **Manuscrito 5 - Contribuição para a avaliação de biomassa e carbono estocados em bosques de mangue do Delta do Parnaíba, Maranhão, Brasil**

Tabela 1 - Dados obtidos a partir do presente estudo (veja manuscrito 2 para maiores detalhes das áreas de dos parâmetros observados) de quatro áreas localizadas no Delta do Parnaíba, setor maranhense. Estimativas de biomassa obtidas através de equações alométricas (veja texto). Densidade de carbono estocado calculada como 0.5 vezes a densidade de biomassa. ....284

Tabela 2 - Dados sobre biomassa e carbono estocado, obtidos de estudos selecionados de bosques de mangue pertencendo aos Manguezais ocidentais (“*Western Mangroves*”, TOMLINSON, 2016). ....287

### **Manuscrito 6 - Climatologia para o Município de Parnaíba, Piauí/Brasil**

Tabela 1 - Dados das maiores médias diárias totais de eventos de precipitação para a série climatológica de 1962-2017 para o município de Parnaíba, Piauí, Brasil. ....302

Tabela 2 - Valores classificatórios da série (1988-2017) para o município de Parnaíba, Piauí, de acordo com os valores estabelecidos para cada classe Quantis. ....303

## LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
APA	Área de Proteção Ambiental
APC/CPA	Análise de componentes principais
APP	Área de Preservação Permanente
CIP/IPC	Classificação Internacional de Patentes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EFA	Análise elíptica de Fourier
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPO	European Patent Office
GEE	Gases de Efeito Estufa
HDELTA	Herbário Delta do Parnaíba
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IPCC	Denominação em inglês - Intergovernmental Panel on Climate Change
KNN	k-Nearest Neighbors
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NRM	Flutuações do nível relativo do mar
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PCA	Principal Component Analysis
PIMM	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
SISBIO	Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TEPB	Herbário Graziela Barroso
UC	Unidade de Conservação
UNESCO	Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
WIPO	World Intellectual Property Organization
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Apresentação</b> .....	29
<b>2</b>	<b>Revisão bibliográfica</b> .....	33
2.1	Ecossistema manguezal: distribuição, ocorrência e importância .....	33
2.1.1	Origem e teorias de sucessões dos bosques de manguezais .....	35
2.1.2	A relação dos bosques de manguezal com a mudança climática e o sequestro de CO <sub>2</sub> .....	40
2.2	Manguezais no Brasil .....	45
2.3	Ecossistema manguezal: legislação ambiental no Brasil.....	49
2.4	O manguezal do Delta do Parnaíba .....	55
2.5	Morfometria: contexto histórico e estudos realizados em espécies de manguezais .....	59
	Referências .....	65
<b>3</b>	<b>Manuscritos</b> .....	77
	Manuscrito 1 - Análise elíptica de Fourier nas diferentes formas foliares em <i>Avicennia germinans</i> e <i>A. schaueriana</i> no Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil .....	78
	Manuscrito 2 - Heterogeneidade estrutural em bosques de manguezal em áreas regeneradas e conservadas do Delta do Parnaíba, Maranhão, Brasil .....	148
	Manuscrito 3 - Mapeamento científico e tecnológico de espécies de <i>Avicennia</i> spp. ....	237
	Manuscrito 4 - Cenário dos estudos em sequestro de carbono em áreas de Manguezal .....	258
	Manuscrito 5 - Contribuição para a avaliação de biomassa e carbono estocados em bosques de mangue do Delta do Parnaíba, Maranhão, Brasil .....	275
	Considerações finais .....	311
	Apêndices .....	313
	Apêndice A - Gráfico e tabelas referentes ao Manuscrito 2.....	314
	Apêndice B - Calendário Socioambiental das espécies de mangue ocorrentes na Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba.....	324
	Apêndice C - Cartilha “Conhecendo o Manguezal do Delta do Parnaíba”, em construção .....	325
	Anexos .....	327
	Anexo A - Cadastro no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – SISGEN.....	328
	Anexo B - Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO para Autorização de atividades com finalidade científica .....	329
	Anexo C - Artigo publicado na Revista <i>Feddes Repertorium</i> .....	333
	Anexo D - Diretrizes para autores - Revista Caderno de Prospecção .....	364
	Anexo E - Diretrizes para Autores - Revista Humanidades & Inovação .....	370
	Anexo F - Comprovante de submissão de artigo –.....	372
	Anexo G - Comprovante de aceite de artigo a Revista Humanidades & Inovação....	373
	Anexo H - Artigo publicado na Revista <i>Open Journal Systems</i> .....	374

## 1 APRESENTAÇÃO

Os manguezais constituem-se em um ecossistema costeiro, característico de regiões tropicais e subtropicais, úmidas, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, sujeitos ao regime das marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995; MANTOVANI, 2002). São caracterizados por solos limosos, instáveis, lamacentos, ricos em matéria orgânica, em que os nutrientes são distribuídos irregularmente, de forma livre e particulada, com maior contribuição e acúmulo de sedimentos, por interferência das marés (BALL, 1988).

O solo lamacento, a alta salinidade, a inundação regular e os baixos níveis de oxigênio no substrato condicionam a sobrevivência de espécies com adaptações morfológicas e fisiológicas (FERNANDES, 2012; SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2015; TOMLINSON, 2016), como alta dinâmica iônica, resultante dos processos de oxirredução e alterações de salinidade do solo, em consequência da hidrodinâmica (JOSHI; GHOSE, 2003; REEF *et al.*, 2010), estruturas destinadas ao controle interno de concentração de sais, como as glândulas excretoras de sais presentes nas folhas; os sistemas radiculares (raízes aéreas e pneumatóforos) que, além de permitirem a fixação da planta em solo frouxo, desempenham a função de garantir as trocas gasosas com o ambiente; e, a reprodução por viviparidade, além da alta tolerância às condições hipersalinas devido a anatomia adaptadas ao *habitat* (TOMLINSON 1986, 2016).

A estrutura do manguezal possibilita a manutenção de vários *habitats* propícios à proteção contra predadores, reprodução, desova e crescimento de diversas espécies marinhas ou de água doce, além de permitir o abrigo de numerosas espécies terrestres na vegetação (DELABIE *et al.*, 2006). Em contrapartida, manguezais são favoráveis à instalação de portos e expansão de cidades, tendo como consequência desmatamento, aterramento, eutrofização, entrada de elementos estranhos no sistema (poluição química e orgânica, invasão por espécies exóticas) e impactos de outras naturezas (MACINTOSH; ASHTON, 2005), tais como a instalação de salinas em áreas próximas do mar justamente para viabilizar a captação das águas marinhas (SANTOS; LEITE, 2011). Dessa maneira, há casos em que dentro da propriedade de salinas há vestígios de mangue suprimidos pela construção de canais de escoamento de água do mar. O corte da vegetação de mangue, além de destruir a flora, expõe o solo ao sol, provocando a evaporação mais rápida da água e, conseqüentemente, a salinização do substrato (ALVES, 2001), tendo como consequência variação de salinidade, que pode ocasionar processos de sucessão na composição dos bosques de mangues, em que as espécies mais tolerantes têm maior vantagem (ELLISON, 1993).

Nesta vertente, as mudanças climáticas também podem alterar significativamente os bosques de mangues, acarretando alterações de temperatura, concentrações de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>), irregularidade na precipitação pluviométrica, dentre outras (GILMAN *et al.*, 2008). Especificamente, no caso de alterações de CO<sub>2</sub>, estas podem afetar de forma direta e indireta, onde a primeira ocorre pelo aumento do processo fotossintético, incrementando as taxas de crescimento da biomassa e a segunda pelo aumento de CO<sub>2</sub> com modificação no pH do mar (UNEP, 1994; MCLEOD; SALM, 2006). Como consequência, impactos indiretos ao manguezal podem ocorrer, aumentando, por exemplo, a erosão de suas encostas (MCLEOD; SALM, 2006). Em temperaturas superiores a 25°C, normalmente, há redução do processo de produção de folhas em algumas espécies. Quando a temperatura ultrapassa 35°C, tende ocorrer estresse térmico, havendo prejuízo no desenvolvimento das raízes e dos propágulos (UNESCO, 1992) e em temperatura entre 38 a 40°C, o processo fotossintético deixa de acontecer (CLOUGH, ANDREWS; COWAN, 1982; ANDREWS, CLOUGH; MULLER, 1984). A diminuição de taxas de precipitação é outro fator que acarreta a perda de produtividade e de crescimento, e desfavorece a sobrevivência de plântulas de manguezal (MCLEOD; SALM, 2006), como no caso de *Rhizophora mangle* L. e *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn. que têm restringido a tolerância a altos teores de salinidade quando comparadas à *Avicennia germinans* (L.) L. (CINTRÓN; LUGO; POOL, 1978).

No Brasil, os manguezais recobrem área estimada de 25.000 km<sup>2</sup>, distribuída em 7.408 km<sup>2</sup> de linha costeira do país (FERNANDES, 2012), desde o rio Oiapoque, no Amapá, até a Laguna em Santa Catarina (BRASIL, 2002; MMA, 2009). E os estados que detêm as mais extensas áreas são Maranhão (505 mil ha), Pará (aproximadamente 390 mil ha) e Amapá (226 mil ha). Os demais estados não ultrapassam 90 mil ha cada (FUME *et al.*, 2018).

Dentre as áreas de manguezal que ocorre no estado do Maranhão cita-se a que ocorre no delta do rio Parnaíba, cuja parte ocidental encontra-se dentro deste estado e se integra na área de proteção ambiental (APA) Delta do Parnaíba. Esta possui extensão de cerca de 2.750 km<sup>2</sup> e abrange ainda municípios dos Estados do Ceará (10%) e do Piauí (30%). Trata-se de uma região flúvio-marinha, em que os manguezais estão representados pela *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *A. schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke e *Conocarpus erectus* L. como espécies características (DEUS *et al.* 2003; MEIRELES, 2012; ARAÚJO, 2013; NASCIMENTO, 2014; ANDRADE *et al.*, 2014; MEIRELES, 2016).

Pesquisas realizadas no estado do Maranhão, na sua maioria na região da capital do Estado de São Luís, em áreas conservadas de manguezais e em regeneração têm levado em consideração principalmente aspectos descritivos, qualitativos e quantitativos, revelando



florestas com grande heterogeneidade estrutural, funcional e energética, como pode ser verificado nos trabalhos de Frois Abreu (1939), Damázio (1979), Honaiser (1993), Mochel (1993; 2002; 2009), Costa *et al.* (2006; 2014) e Fonseca e Mochel (2016). Porém, apesar da grande representatividade de manguezal na APA do Delta do Parnaíba, são poucos os estudos ecológicos e estruturais realizados nesta Região (DEUS *et al.*, 2003; MEIRELES *et al.*, 2016, 2017; 2018; Araújo *et al.*, 2018). Por esta razão, o presente estudo se direcionou em aprofundar os conhecimentos sobre a estrutura e ecologia das florestas de mangue no Delta do Parnaíba, buscando demonstrar a sua variabilidade (tanto natural como artefato resultado de ações antrópicas) e importância ecológica para armazenamento de carbono. Entre os fatores considerados quanto à variação ecológica e florística das florestas destacam-se os efeitos de desmatamento, a localização em relação ao continente e ao oceano, a caracterização físico-química das águas inundantes, e a questão de confiabilidade da determinação das espécies arbóreas, o que pode influenciar medidas de biodiversidade e análises ecológicas.

Diante do exposto, foram levantadas quatro hipóteses para guiar a investigação: 1) A estrutura ecológica da floresta, inclusive sua biomassa acima do solo e por consequência seu estoque de carbono, varia significativamente de acordo com sua localização, seu estado de conservação e com relação a proximidade ao tabuleiro terciário; 2) Existem mais de um táxon para *Avicennia* no Delta, e eles são diferenciáveis por abordagens quantitativas; 3) Táxons vernaculares aplicáveis a *Avicennia* correspondem a espécies científicas deste gênero; e 4) Apesar da variabilidade considerável na forma foliar de todas as espécies arbóreas de mangue, a identificação das espécies pelas folhas pode ser feita com segurança.

Portanto, o objetivo geral foi caracterizar a estrutura ecológica e a composição florística de espécies vegetais arbóreas de quatro áreas, conservadas e em regeneração, na APA Delta do Rio Parnaíba, estado do Maranhão, nos municípios de Araiões e Água Doce do Maranhão. Os objetivos específicos foram: Determinar a estrutura de quatro áreas de manguezal em dois municípios, Araiões e Água Doce do Maranhão, uma área conservada e uma em regeneração em cada localidade; Identificar as espécies arbóreas de mangue ocorrentes nas comunidades estudadas; Contribuir para avaliação da taxa de biomassa e estoque de carbono dos manguezais do Delta por meio de cálculo do componente acima do solo nas áreas estudadas; Avaliar a variação morfológica em *Avicennia* spp. nas quatro áreas estudadas; e Relacionar a intervenção humana com a estrutura ecológica nas áreas estudadas através de estudo de dados climatológicos.

O presente trabalho foi estruturado em parte pré-textual; textual (Introdução, Fundamentação Teórica e Referências), seguindo as normas da ABNT vigente; e seis

manuscritos: I) Análise elíptica de Fourier das diferenças de forma foliar em *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* no Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil; II) Heterogeneidade estrutural em bosques de manguezal em áreas regeneradas e conservadas do Delta do Parnaíba, MA, Brasil; III) Mapeamento científico e tecnológico de espécies de *Avicennia* spp.; IV) Cenário dos estudos em sequestro de carbono em áreas de manguezal, visando atender, após o detalhamento categórico, os objetivos traçados para este estudo; V) Contribuição para a avaliação de biomassa e carbono estocado em bosques de mangue do Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil; VI) Climatologia para o Município de Parnaíba, Piauí/Brasil.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ECOSISTEMA MANGUEZAL: DISTRIBUIÇÃO, OCORRÊNCIA E IMPORTÂNCIA

O manguezal representa um quarto da costa tropical e 3% do total das florestas tropicais do mundo (SPALDING *et al.*, 1997; MISHRA *et al.* 2012; SPALDING *et al.*, 2014; FUME *et al.*, 2018), sendo característico de regiões tropicais e subtropicais e geograficamente localizado em zonas costeiras (Figura 01), podendo se estender até as latitudes de aproximadamente 32° N e 39°S (SESSEGOLO, 1997; KRUG *et al.*, 2007; ALVES, 2008; PUPIN, 2013).

Trata-se de um ecossistema de transição entre os ambientes terrestre e marinho, onde ocorre o encontro de águas dos rios com a água do mar - como as margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas e reentrâncias costeiras. Apresenta acentuado teor de sais advindos da água do mar, o hidromorfismo<sup>1</sup>, fato este que dificulta a diferenciação de horizontes, além do alto teor de matéria orgânica, nos locais com paludização, e cor acinzentada, proveniente do processo de gleização (MARQUES, 2010).

De forma complementar, os manguezais consistem num sistema ecológico costeiro tropical dominado por animais e por espécies vegetais lenhosas típicas que apresentam adaptações a substratos pouco oxigenados, sujeitos à intrusão salina e frequente submersão pelas marés, conferindo elevada salinidade e condições anóxicas (SOARES, 1997; FIRME, 2003; PRADA-GAMERO *et al.*, 2004).

Em termos globais, os manguezais alcançam extensão de cerca de 170.000 km<sup>2</sup> (SPALDING *et al.*, 2014), embora estudos (ZALDÍVAR-JIMÉNEZ *et al.*, 2010; ROZAINAH *et al.*, 2018) realizados em áreas de manguezal na América Central, Ásia e Índia tenham detectado a perda de 1% ao ano de área coberta por vegetação de manguezal, quando foi previsto aumento anual de 5% entre 1980 e 2000, para que fossem recompostas as áreas originais (FONSECA; DRUMMOND, 2003).

O ecossistema manguezal apresenta condições favoráveis para a alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies de animais, sendo considerado importante transformador de nutrientes em matéria orgânica, gerador de bens e serviços (QUINÕES, 2000). Estes

---

<sup>1</sup> Os solos hidromórficos apresentam características específicas, que refletem o ambiente de drenagem deficiente e a saturação por água na maior parte do tempo. A condição de *déficit* de oxigênio leva à redução química de uma série de elementos ou compostos como (NO<sub>3</sub>; óxidos de Mn e Fe; SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), relacionada à dinâmica da matéria orgânica do solo como apresentado em 1972 por Ponnampertuma.

benefícios variam de fonte de matéria orgânica em direção às águas costeiras adjacentes; base de cadeias tróficas marinhas de espécies de importância econômica e/ou ecológica; área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, límnicas e terrestres; área de pouso (alimentação e repouso) para diversas espécies de aves migratórias, ao longo de suas rotas de migração; manutenção da diversidade biológica da região costeira; absorvedores e imobilizadores de produtos químicos (como por exemplo, metais pesados), filtro de poluentes e sedimentos, além de tratamento de esgotos em seus diferentes níveis; fonte de recreação e lazer, associado a seu alto valor cênico; fonte de alimento e produtos diversos, associados à subsistência de comunidades tradicionais ribeirinhas como madeira e tanino (KJERFVE; LACERDA 1993; TOMLINSON 1986, 2016); proteção da linha de costa contra a erosão e assoreamento (THAMPANYA *et al.*, 2006; SPALDING *et al.*, 2014), tsunamis (KATHIRESAN; RAJENDRAN, 2005; DAS; VINCENT, 2009); e funções climáticas como sequestro e aprisionamento de carbono na sua forma orgânica (YU, 2009; MCLEOD *et al.*, 2011; ALONGI, 2014; DI NITTO *et al.*, 2014), função ecológica reconhecida com maior urgência em décadas recentes.

O manguezal também tem importante função como indicador biológico para as modificações de linha de costa, em função da rápida resposta das suas espécies vegetais às alterações nos componentes abióticos presentes no ecossistema, de modo que seu monitoramento se tornou uma ferramenta importante para a previsão de mudanças climáticas globais (SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2002; SOARES *et al.*, 2005).

As ações antrópicas têm impactado negativamente os benefícios que os manguezais fornecem, tanto para os ecossistemas naturais como para a sociedade humana, sendo a maior ameaça a perda de *habitats* e serviços relacionados ao desenvolvimento portuário, a urbanização, a implantação de complexos turísticos, a aquicultura e a industrialização, a citar alguns exemplos, sendo frequentemente coniventes a destruição de florestas e áreas úmidas (MMA, 2010; FUME *et al.* 2018, ICMBio, 2019).

De forma complementar e classificatório, tem-se as marismas e os apicuns. As marismas são ambientes ecologicamente similares aos manguezais, sendo diferenciáveis por ocorrerem em zonas temperadas, sendo fonte considerável de nutrientes e de detritos para a cadeia alimentar, além de abrigo e substrato para inúmeras espécies animais de importância econômica e ecológica. Formam *habitats* relevantes para moluscos, crustáceos, insetos, peixes, aves e mamíferos, permanecendo parcialmente inundados pela preamar (maré alta), e caracterizando-se por cobertura vegetal do tipo herbácea, predominantemente espécies de *Spartina* Schreb. No

Brasil, as marismas estão registradas para Santa Catarina e Rio Grande do Sul, numa área de 12.149 hectares (MMA, 2010).

Os apicuns, por sua vez, ocorrem entre manguezais e sua encosta ou, ainda, no interior de manguezais, na interface sentido litoral; seus limites superiores são estabelecidos pelo nível médio das preamares equinociais (MACIEL, 1991; PELLEGRINI, 2000; PROST, 2001). Os apicuns estão relacionados à ocorrência de marés meteorológicas (PELLEGRINI, 2000), a antigas obras de drenagens (ARAÚJO, 1985) e a estações secas bem definidas ao longo do ano (PELLEGRINI, 2000). Fume *et al.* (2018) comentaram que na porção mais interna do ecossistema, onde encontra-se a superfície areno-lamosa (mistura de areia e lodo) e na planície hipersalina que se concentram os nutrientes que serão utilizados pelo manguezal para sintetizar matéria orgânica vegetal e animal – fitomassa e biomassa, respectivamente. Os apicuns podem ser desprovidos de vegetação vascular típica do ecossistema, sendo assim compostos por herbáceas que estão adaptadas aos ambientes hipersalinos, como *Sesuvium portulacastrum* L., *Eleocharis mutata* (L.) Roem. & Schult, *Sporobolus virginicus* (L.) Kunth e *Salicornia virginica* L., e cianofíceas (algas azuis), formando uma comunidade que abriga alta diversidade biológica, inclusive de crustáceos e de aves, sendo estas últimas tanto residentes quanto migratórias.

### 2.1.1 ORIGEM E TEORIAS DE SUCESSÕES DOS BOSQUES DE MANGUEZAIS

Sucessão ecológica é um termo que advém da ecologia usado para delinear processos de alteração na vegetação em várias escalas, seja ela temporal, espacial ou vegetacional. É um dos mais antigos e fundamentais conceitos para compreender sua dinâmica e necessária para o entendimento das comunidades (JOHNSON 1977; TURNER, 1983; FARRELL, 1991).

Dentre os vários modelos de sucessão, tem o modelo de facilitação que, de modo geral, parte do princípio de que as espécies pioneiras da sucessão possam alterar as condições e/ou a disponibilidade de recursos em um *habitat* de maneira a favorecer a entrada e o incremento de novas espécies. Cada estágio da sucessão promove o estágio seguinte, fornecendo condições para que outras espécies se estabeleçam (BERKOWITZ; CANHAM; KELLY, 1995).

De modo específico, Walsh (1974) e Chapman (1975) detalharam as condições básicas para o desenvolvimento de bosques de manguezal em escala mundial, sendo: temperatura média do mês mais frio superior a 20° C e amplitude térmica anual inferior a 5° C; presença de substrato aluvial (lamoso), encontrado em Deltas, estuários e lagoas costeiras; ambientes costeiros protegidos, com baixa energia hidrológica; presença de água salgada (hipersalina), de modo

que as espécies (vegetais) sejam beneficiadas em relação a outras espécies terrestres e dulcícolas não adaptadas a esta condição; grande amplitude de marés, relacionando à topografia local influencia a extensão dos manguezais, de modo que quanto maior for a amplitude das marés, menor a declividade do terreno, maior é a intrusão de água salgada a grandes distâncias, o que permite uma área potencial maior de colonização das espécies; e correntes oceânicas adequadas (temperatura e direção), responsáveis, dentre outras ações, a dispersão dos propágulos, ao passo que delimitaria limites biogeográficos quanto a distribuição em virtude da temperatura, além da existência de costa (área costeira) adequada e rasa para a fixação dos mesmos.

Na literatura são descritas teorias para a sucessão de bosques de manguezais. Segundo a teoria de Davis (1940), a ocupação e distribuição das espécies de manguezais estariam dispostas segundo os níveis de inundação, de salinidade e pelas marés. O processo proposto seria composto por uma faixa externa composta por plântulas e árvores imaturas de *Rhizophora mangle*, que invadiriam locais menos profundos. Em seguida, viriam indivíduos adultos da mesma espécie, elevando o solo por acúmulo de sedimentos entre suas raízes. E posteriormente, viriam os indivíduos de *Avicennia germinans*, juntamente com os de *Laguncularia racemosa*, que seria inundada pelas marés com menor frequência e por isso sofreria salinidade mais elevada. A faixa proximal ao continente seria ocupada por indivíduos de *Conocarpus erectus* e o substrato seria mais seco e os sais minerais seriam lixiviados, onde o manguezal está disposto em direção ao mar (bordas) de forma contínua. Esse seria, portanto, um padrão de sucessão autogênica, em que a deposição de sedimentos induzida pelas raízes de *Rhizophora mangle* na franja elevaria o nível do solo, reduziria a frequência de inundação pelas marés, e estabeleceria um novo gradiente de inundação e salinidade. Contrariando a primeira teoria, Egler (1948) defendeu que o manguezal coloniza/avança de forma contínua, como apontado anteriormente, mas de forma descontínua. Outra contestação foi que caso o manguezal estivesse, de fato, avançando em direção ao mar, como defendido por Davis, as árvores posteriores de cada zona deveriam ter seus diâmetros maiores, mostrando um desenvolvimento anterior, o que não foi apurado por Egler. Para este autor, o avanço descontínuo dava-se quando as condições fossem favoráveis à fixação e desenvolvimento das plântulas. Mesmo com este embasamento, foi apenas em 1952 que Egler se baseando em resultados de estudos geológicos, afirmou que o aparente avanço dos bosques de manguezal em direção ao mar foi consequência não da deposição de sedimentos causada pelas raízes das árvores, mas pela elevação do nível do mar, consequência de outros fatores climáticos e geológicos independentes.

De acordo com Thom (1967), a distribuição dos mangues estaria relacionada com os aspectos físicos, em que a hidrologia, sedimentação, geomorfologia, clima dentre outros estariam interagindo, delineando a sucessão dos ecossistemas de manguezal. E que as primeiras espécies vegetais a se desenvolverem neste ecossistema são as gramíneas e com o acúmulo de sedimento há a colonização de demais espécies típicas de manguezal. Segundo o mesmo autor, o ecossistema manguezal apresenta seis níveis de sucessão sendo distribuídos assim: primeiro nível corresponde a colonização por gramíneas (Poaceae) e Cyperaceae em leito de rios, contribuindo ainda com o aumento da taxa de sedimentação nas bordas; em seguida há a formação de sedimentação lamosa em ambos os lados do rio, propiciando a colonização de indivíduos de *Avicennia*; posteriormente os lados (bordas) alcançam o nível máximo de acúmulo de sedimentação ao passo que a água oligossalina impede a intrusão hipersalina, propiciando a instalação de indivíduos de *Rhizophora* e *Laguncularia* junto aos já ocorrentes de *Avicennia*. Como resultado, ocorria a ruptura do braço do rio, há formação de novos braços, levando ao assoreamento recorrente, permitindo a intrusão salina, permitindo a colonização de indivíduos de *Rhizophora* nas margens e direcionando *Avicennia* para áreas mais internas (arenosas) e compactadas; com a progressiva deterioração das bordas, *Rhizophora* se torna predominante; não havendo depósito no canal do rio e decréscimo de matéria inorgânica, levando ao acúmulo aluvial da turfa, suscetíveis aos regimes hidrológicos.

Já Cintrón *et al.* (1978), propuseram uma hipótese de sucessão para ambientes tropicais, análogo ao postulado por Davis (1940), embora de forma periódica, levando em consideração a baixa precipitação, aumento da evapotranspiração e o fluxo de marés rebentando na borda, com presença de indivíduos de *Rhizophora* em meio aos bancos calcários, seguido da elevação destes pelo acúmulos de sedimentos, reduzindo assim a frequência de inundações, aumento de salinidade, e consequente substituição de *Rhizophora* por *Avicennia*, com a formação de bosque anão em seu interior, o que posteriormente haveria a salinização excessiva e posterior formações de lagunas hipersalinas. Para Rabinowitz (1978), entretanto, a zonação e posterior sucessão não estão apenas ligadas a fatores fisiológicos das espécies em meio ao ambiente, mas sim a seleção das plântulas pela maré. De acordo com o mesmo autor, os indivíduos de *Avicennia* e *Laguncularia* colonizariam, quando em condições favoráveis, áreas mais internas por apresentarem menores níveis de inundação, facilitando assim o transporte dos propágulos menores, ao passo que os maiores estariam alastrando-se em áreas com maiores níveis de inundações.

A hipótese de Duke (2001) foi baseada em dados contínuos de 100 anos, onde a sucessão ocorreria pela fixação de propágulos e posterior aumento da densidade dos bosques de tal forma

que haveria o crescimento e fechamento das copas pelos indivíduos de grande porte, resultando no aumento da biomassa e conseguinte decréscimo da densidade abrindo campos por meio da senescência dos indivíduos. Já Fromard *et al.* (2004), ao estudarem a dinâmica de sucessão em florestas de manguezal da Guiana Francesa, postularam que os estágios de desenvolvimento dos bosques após a fixação em solos lamosos estariam classificados em: manguezais pioneiros, tendo como espécies expressivas de *Laguncularia* e *Avicennia* em manguezais juvenis, quando há baixa densidade de indivíduos, mas seus diâmetros são robustos, e em manguezais adultos, espécies de *Avicennia* são dominantes. Portanto, segundo a teoria destes autores, com o passar dos anos haverá aumento da mortalidade dos indivíduos maduros. Neste sentido, a morte dos indivíduos resultaria na formação de clareiras, exposição do solo, aumento nos fluxos de marés, levando a erosão, novas deposições e fixação de novos indivíduos.

Como se observa, estas teorias que tentam explicar a origem e a atual distribuição dos manguezais ao longo das regiões costeiras da Terra, não tendem para uma hipótese unânime (CHAPMAN, 1975; TOMLINSON, 1986, 2016). Contudo, são unânimes em assegurar a existência de um centro de origem, a partir do qual os mangues dispersaram-se tomando as costas dos continentes e ilhas ao redor do globo ao longo da história de evolução da Terra (VALE, 2004).

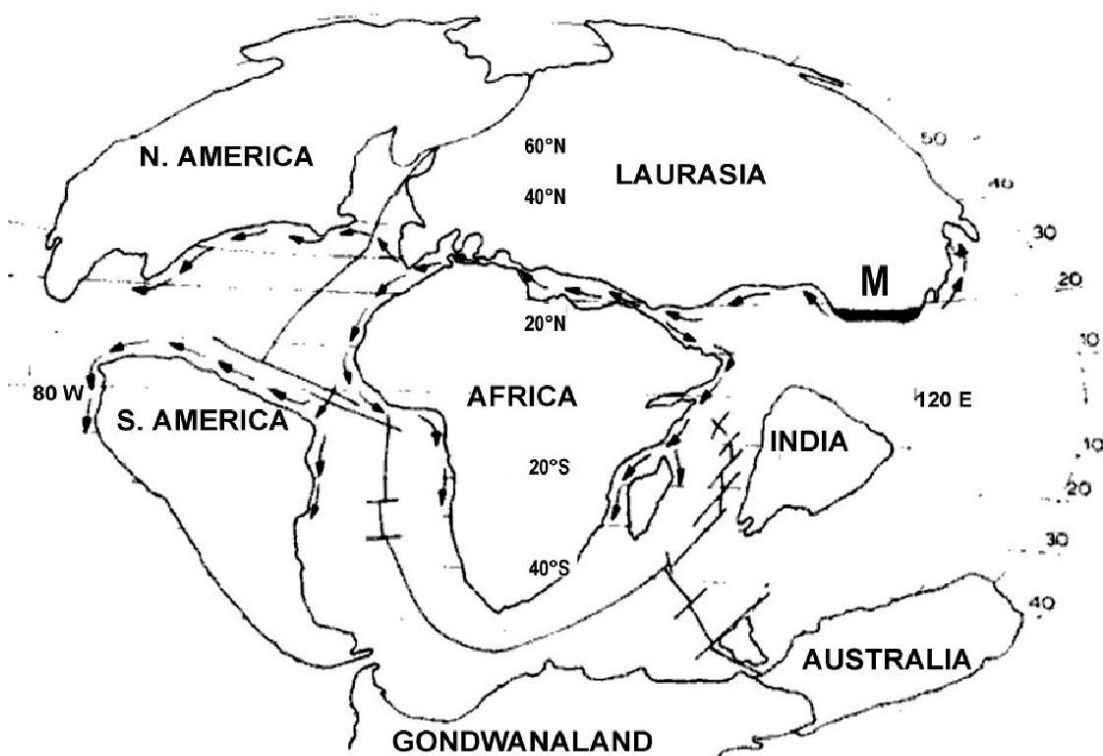
Autores como Ding (1960) e Van Steenis (1962) sugeriram que *Rhizophora* e *Avicennia* originaram-se na região Indo-Pacífica e se difundiram-se em direção ao leste das Américas e em direção ao oeste para leste da África. A ampla distribuição destes dois táxons, deve-se ao fato de que foram os primeiros gêneros deste ecossistema que evoluíram durante o Cretáceo Superior, migrando a partir do centro de origem, através do Mar de Tethys (constitui hoje o Oceano Índico), alcançando a costa oeste da África e o leste das Américas, cruzando o istmo<sup>2</sup> do Panamá e chegando, então, à costa ocidental das Américas (à esquerda) (CHAPMAN, 1975) (Figura 01).

---

<sup>2</sup> É uma porção de terra estreita, cercada por água em dois lados e que une duas grandes extensões de terra. O Panamá é um país que se situa num istmo que liga o Mar das Caraíbas ao Oceano Pacífico.



Figura 1 - Configuração aproximada dos continentes ao final do Cretáceo. As setas (na costa) indicam possíveis rotas de dispersão de *Rhizophora mangle* (L) e *Avicennia* spp. Chapman representou com a letra M (na placa da Laurasia) como possível centro de origem desses gêneros.



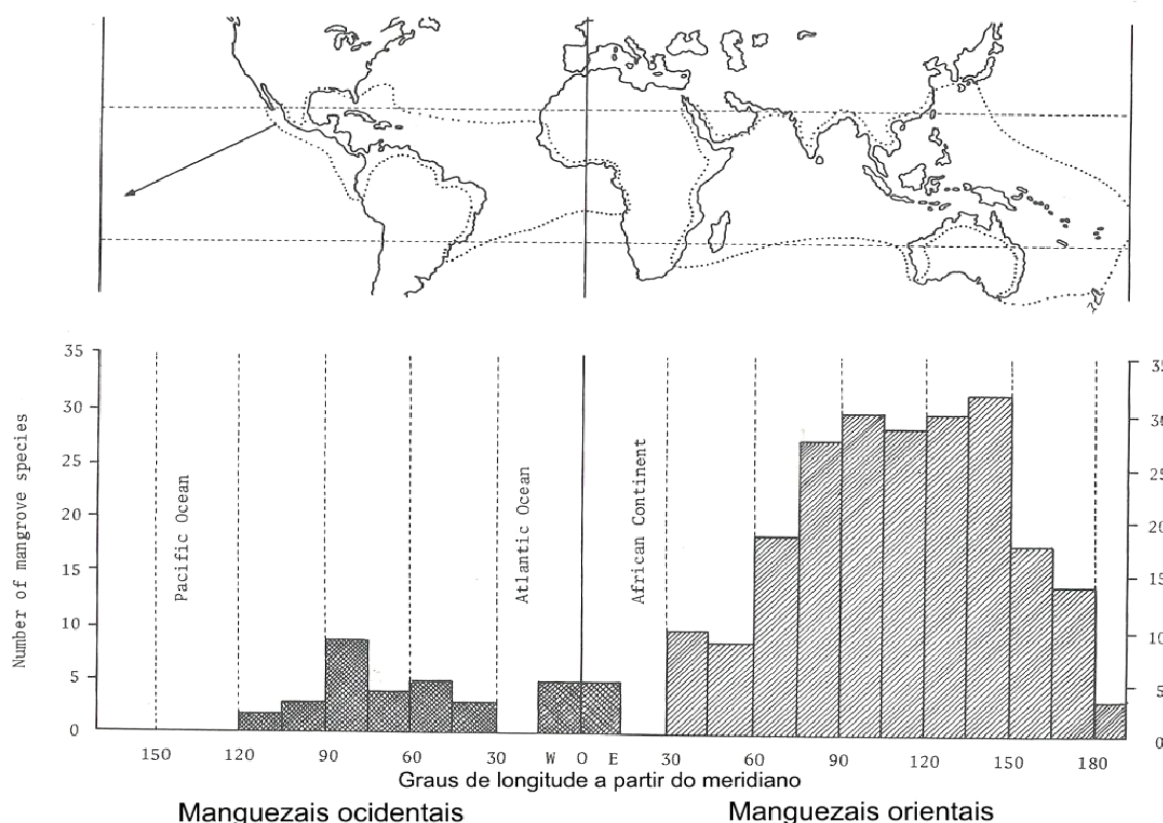
Fonte: Chapman (1977)

Os manguezais, portanto, não estão uniformemente distribuídos ao longo das zonas costeiras do mundo. Para Chapman (1976), a resposta para esta não uniformidade é de que surgiram a partir de um centro de dispersão no Indo-Pacífico, visto que há maior número de espécies quando comparado com o oceano Atlântico, bem devido a conexão desses oceanos ser feita por meio de corrente no Polo Sul em direção oeste-leste, a temperatura da água ser extremamente fria, funcionando assim como barreira física. Entretanto, para Chapman (1976), durante o Cretáceo, a conexão dos oceanos era localizada no Hemisfério Norte, através de uma Corrente quente e de direção Leste-Oeste que possibilitou a dispersão de espécies e que ocorreu no mesmo sentido da corrente (Oceano Pacífico - oceano Atlântico), o que explicaria a maior riqueza de espécies no Pacífico que no Atlântico.

O número de espécies de mangue na região Oriental é consideravelmente superior ao da região Ocidental (Figura 02). Na primeira área, o número de espécies de ditos “mangues verdadeiros<sup>3</sup>” é 40 e na segunda é de apenas oito (TOMLINSON, 2016).

<sup>3</sup> Existem espécies vegetais que se desenvolvem juntos aos manguezais, mas que não possuem adaptações especiais como os mangues verdadeiros, pode-se citar como exemplo a samambaia do mangue *Acrostichum aureum* (L.), o algodoeiro da praia *Hibiscus tiliaceus* (L.), dentre outras, apresentados nesta tese, como exemplos.

Figura 2 - Distribuição global dos manguezais. Acima dos limites para todas as espécies. Na parte inferior, apresentando o número aproximado de espécies de manguezal a cada 15° de longitude.



Fonte: Adaptado e modificado de Tomlinson (2016)

## 2.1.2 A RELAÇÃO DOS BOSQUES DE MANGUEZAL COM A MUDANÇA CLIMÁTICA E O SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub>

Os ecossistemas naturais são componentes fundamentais do sistema terrestre e devem ser entendidos como modelo de gerenciar as concentrações atmosféricas dos gases e, assim, o clima global (NEUBAUER; MEGONIGAL, 2019). Há uma percepção de que a mudança do clima continuará a ter impactos fundamentais sobre o ambiente natural (FRANK *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, vêm sendo discutido acerca das mudanças climáticas (IPCC, 2014; ANDRADE *et al.*, 2014; NUNES, 2016; WANDERLEY *et al.*, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2019; IPCC, 2019). Isso deve-se, dentre outros fatores, ao cenário de mudanças climatológicas que exibem aumento acima de 2°C na temperatura média global do planeta, o que leva a grandes desequilíbrios em ecossistemas como relatado no Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014), dentre estes com o maior fluxo de marés altas e de tempestades, dificultando a drenagem das águas para o mar, o que leva ao prolongamento de cheias ou inundações repletas de água poluída (PRIORI JR, 2014).

As alterações advindas das mudanças climáticas estão sendo agravadas, desde a revolução industrial, pelo aumento das concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera e aquecimento global (IPCC, 2014), que por sua vez são intensificados pelas atividades humanas (GHINI *et al.*, 2008; NASCIMENTO *et al.*, 2019). Estas alterações ambientais tem sido preocupação mundial crescente, principalmente quando se trata da excessiva emissão não somente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mas de outros gases, como o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), na atmosfera (CARVALHO, 2010).

A maior parte do carbono continental está acumulada nos ambientes florestais, incluindo vegetação e solo, ou seja, cerca de dois terços do carbono está estocado na superfície da terra (YU, 2004). Neste sentido, as plantas têm a capacidade de absorver CO<sub>2</sub> atmosférico (RENNER, 2004), fixando-o principalmente em forma de matéria lenhosa, i.e. em biomassa, no processo denominado sequestro de carbono (OLIVEIRA, 2016); as florestas portanto estocam na forma orgânica (SMITH *et al.*, 2004). Tais fatos apontam para a importância da manutenção e conservação desses ecossistemas, assim, como alternativa para o sequestro de carbono e consequente redução dos danos provocados pelos Gases do Efeito Estufa (GEEs) e conservação da biodiversidade do ambiente (PINTO *et al.*, 2017).

Portanto, o sequestro de carbono está envolvido no próprio processo de crescimento das plantas - quanto maior o porte, maior biomassa acumula-se, sendo as plantas responsáveis por estocar uma estimada quantia de 500 Gt C (YU, 2009). Somado a isto, o carbono terrestre ou continental está acumulado no solo florestal pela decomposição de matéria-prima acumulada durante séculos, sendo responsável por mais 2.000 Gt C., resultando no estoque, dois terços do carbono total armazenado – 2.500 Gt C, as florestas e seus solos (YU, 2004). Quando ocorre a derrubada e posteriormente a queimada desse material vegetal, o processo se reverte, usando oxigênio do ar para a combustão e, liberando o carbono armazenado na madeira na forma do gás dióxido de carbono (AREVALO *et al.*, 2002). Neste contexto, estudos acerca do armazenamento de carbono em ecossistemas florestais, como em áreas de mangue, são essenciais para estimar a absorção e emissão de CO<sub>2</sub> (WANG *et al.*, 2001).

Com relação aos ambientes costeiros, Alongi (2014) comentou que estes são considerados os principais colaboradores para os sequestros de carbono, quando comparados a outros ambientes naturais. Nesse sentido, os mangues são áreas capazes de grande armazenamento de carbono e também atuam como importante tampão costeiro físico contra o impacto de tempestades. Flutuações do nível relativo do mar (NRM) também podem causar mudanças significativas nessas florestas, uma vez que o desenvolvimento dos manguezais é controlado pela interação terra-mar (fluxo de maré), e sua expansão é verificada pela

sedimentação e geoquímica, como apontado por Alongi (2002). Por sua ocorrência estritamente incorporada na interface entre a terra e o mar, estão igualmente sujeitos a expansão ou retração de área de colonização frente às condições ambientais impostas por variações dos índices pluviométrico, NRM, salinidade, correntes marítimas e aporte de sedimentos (WOLANSKI *et al.*, 1990; COHEN *et al.*, 2012).

Outros fatores como temperatura do ar e água são fundamentais para o desenvolvimento dos manguezais, os quais se desenvolvem em ambientes tropicais e subtropicais, com temperaturas onde a média mensal mais fria está acima de 20° C e a amplitude termal é menor que 5° C (CHAPMAN, 1975; WALSH, 1974). Aqui podemos relacionar a temperatura com menor desenvolvimento das florestas, ou seja, baixas temperaturas são capazes de inibir seu crescimento (TOMLINSOM, 1986).

Estudos sobre proteção ambiental são estratégias eficazes para a mitigação dos efeitos de mudanças climáticas (FATOYINBO *et al.*, 2018). Trabalhos como o de Donato *et al.* (2011) indicam que as florestas de mangue estão entre as mais ricas em carbono nos trópicos, contendo em média 1,023 Mg de carbono por hectare, o que ressalta a importância do ecossistema para a diminuição dos gases do efeito estufa (GEEs) presentes na atmosfera. O carbono armazenado nestes ambientes é conhecido como "carbono azul" (CUSACK *et al.*, 2018).

O manguezal é um ecossistema terrestre que pode ser considerado um ambiente com grande capacidade de transformação e armazenamento de carbono, pois cerca de 25% do carbono dissolvido são acumulados nos sedimentos, 25% são reciclados e 50% são depositados nos oceanos, tudo isso correspondendo a 10% de carbono orgânico (FATOYINBO, 2013; GALVÍNCIO; POPESCU, 2016). Desta forma, as florestas de manguezal apresentam grande potencial ao fazer parte de estratégias de atenuação dos efeitos negativos causados pelos GEEs, por apresentarem altos níveis de estocagem de carbono (MELO, 2017; GASPARINETTI *et al.*, 2018). Portanto, o conhecimento a seu respeito é considerado de grande importância, gerando contribuições para o meio econômico, ambiental e climático para diferentes regiões do mundo (MELO, 2017).

Os bosques de mangues podem ser alterados por mudanças climáticas de forma direta e/ou indireta, acarretando alterações na temperatura e concentrações de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>), além de irregularidade na precipitação pluviométrica (GILMAN *et al.*, 2008). O aumento de CO<sub>2</sub> pode modificar o pH do mar, ocasionando impactos indiretos ao manguezal, tais como erosão de encostas e a ocorrência e dispersão das espécies (MCLEOD; SALM, 2006).

Os mangais, como os manguezais também são chamados por Tomlinson (2016), têm grande importância ainda para fauna pois são essenciais para a vida marinha e terrestre, além de acolher diversas populações de aves que o utilizam como área de alimentação, reprodução, desenvolvimento e abrigo (NANNI *et al.*, 2005). Proporcionam ambiente favorável para o crescimento e sobrevivência dos estágios iniciais do ciclo vida de animais e vegetais marinhos (SCHULER, 2000) e possibilitam a manutenção de vários *habitats* que são propícios à proteção contra predadores, reprodução, desova e crescimento de diversas espécies marinhas ou de água doce e abrigar numerosas espécies terrestres na vegetação (DELABIE *et al.*, 2006). Em contrapartida, os manguezais são utilizados na instalação de portos e expansão de cidades, tendo como consequência desmatamento, aterramento, eutrofização, entrada de elementos estranhos no sistema como poluição química e orgânica, e invasão por espécies exóticas (UNEP, 1994; MACINTOSH; ASHTON, 2005; MCLEOD; SALM, 2006). Somados a isso, as mudanças climáticas têm ação nas áreas de manguezais, assim como em outros ecossistemas, podendo alterar significativamente os bosques de mangues, acarretando alterações na ocorrência, morfologia, composição, temperatura e concentrações de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>), além de irregularidade na precipitação pluviométrica (GILMAN *et al.*, 2008).

Neste sentido, de acordo com Instituto Manguezais (2018), uma das principais funções do mangue é a remoção de gases do efeito estufa da atmosfera, em especial o CO<sub>2</sub> proveniente da queima de combustíveis fósseis. A emissão de gases do efeito estufa é um problema crescente. Em decorrência disso, à busca por formas ecologicamente corretas e economicamente viáveis para diminuir a emissão desses gases da atmosfera tem aumentado.

Benefícios como sequestro do carbono atmosférico agregados às atividades socioeconômicas realizadas pelas comunidades que habitam o entorno dos manguezais, devem servir como incentivo para o seu reflorestamento (FONSECA; DRUMMOND, 2003). De acordo com Santos e Santos (2015), a partir da demarcação da região de mangue e da quantificação total do carbono retido nessas árvores pôde-se obter o valor econômico do mesmo, estando as cotações brasileiras por volta de US\$ 20,00 a US\$ 26,00, o que demonstra o potencial econômico dessas áreas para o Brasil.

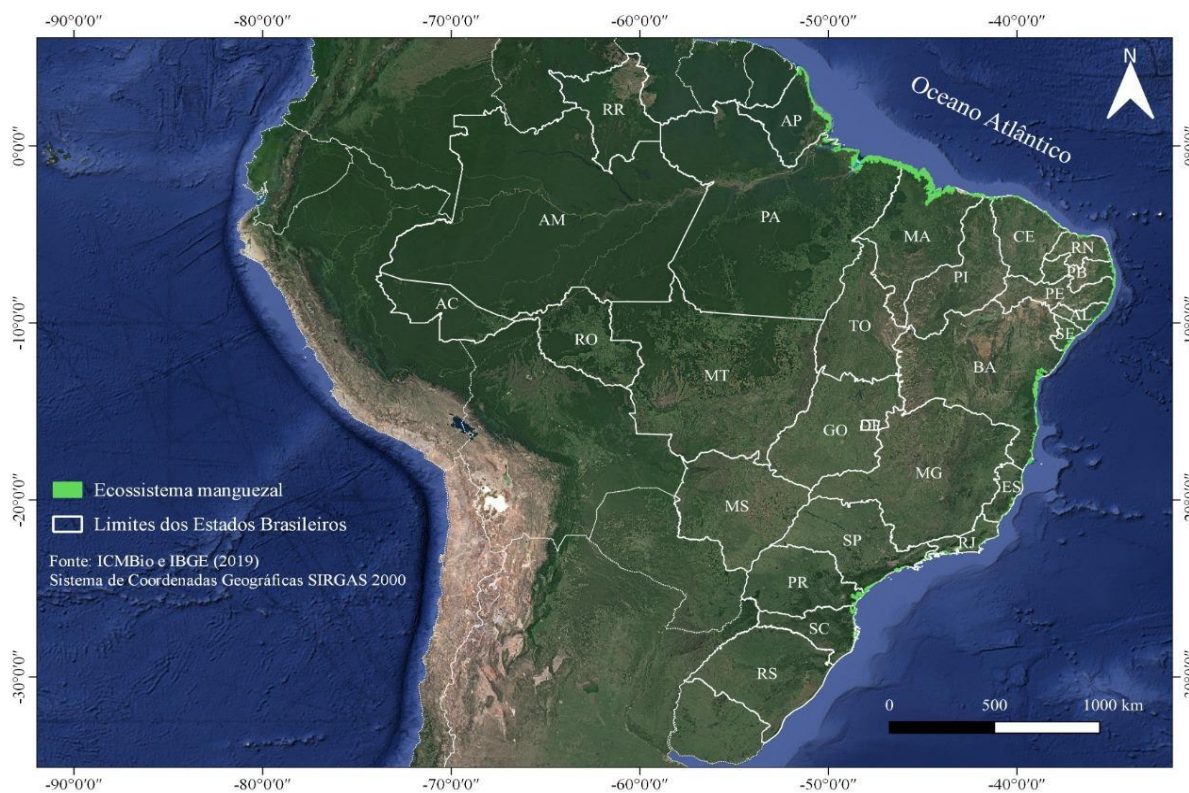
A conservação eficaz dos manguezais pode, por outro lado, trazer benefícios quanto ao sequestro de GEEs, assim como também na diminuição da temperatura ambiental e no efeito de ilha de calor, e redução do escoamento superficial, cumprindo um importante papel na dispersão do carbono retirado da atmosfera para o oceano, desta forma adequando as concentrações de GEEs no ambiente (SAMORA-ARVELA *et al.*, 2016). Portanto, pode-se considerar como alternativas pertinentes para remoção desse excedente de CO<sub>2</sub>, o replantio de

espécies vegetais que tenham uma alta capacidade de retirada de carbono da atmosfera e os oceanos através da absorção, sendo que mundialmente, avalia-se que os manguezais colaborem com cerca de 10% do carbono orgânico dissolvido nos oceanos (CARBON, 2006; MARTINS *et al.*, 2003). A vegetação de manguezal é propícia a este processo, portanto, estudos que tratem da utilização deste ecossistema são importantes devido à sua alta produtividade e importância para população.

## 2.2 MANGUEZAIS NO BRASIL

Os manguezais ocorrem nas regiões costeiras mais protegidas contra a ação do mar. No Brasil, recobrem uma área de 25.000 km<sup>2</sup>, distribuída em 7.408 km<sup>2</sup> de linha costeira do país (SAENGER *et al.*, 1983; FERNANDES, 2012). Herz (1987) tinha estimado extensão costeira de 6.786 km de florestas de mangue, cobrindo área aproximada de 10.000 km<sup>2</sup>. Porém, no mapeamento realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em 2009, que levou em consideração os estudos de Schaeffer-Novelli *et al.* (2000), os manguezais, como ecossistema estruturado abrangem cerca de 12.254,44 km<sup>2</sup> em quase todo o litoral brasileiro, desde o Oiapoque até o litoral catarinense, na foz do rio Maciambú (Praia do Sonho – CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1981). Tem limite ainda mais meridional no Atlântico Sul, mas somente na forma de pequenas touceiras ou indivíduos isolados, e este foi determinado em Laguna em Santa Catarina (SCHAEFFER-NOVELLI, 1989; MMA, 2009) (Figura 03).

Figura 3 - Distribuição dos Manguezais do Brasil.



Elaboração: A autora (2021)

Os estados que têm maior área ocupada por mangues são o Maranhão (505 mil ha), Pará (390 mil ha) e Amapá (226 mil ha). Os demais estados não ultrapassam 90 mil ha cada. Em

termos relativos ao tamanho do estado, os estados com maior porcentagem de área ocupada por mangues são Amapá (1,6%), Maranhão (1,5%) e Sergipe (1,2%) e os demais não superam 0,4% de seus respectivos territórios (FUME *et al.*, 2018).

Na costa brasileira, os manguezais apresentam geralmente solos siltosos típicos de regiões estuarinas, instáveis, lamacentos, ricos em matéria orgânica, sujeito às inundações periódicas e dispersão descontínua (FERNANDES, 2012). A diferenciação dos manguezais depende dos tipos de solos e, principalmente, da dinâmica das águas que atingem sobre cada área costeira. De modo geral, os solos são designados de solos indiscriminados de mangue ou apenas como sendo sedimentos ou substrato, sem levar em consideração suas variações e seus processos pedogenéticos que os caracterizam como solos e não como sedimentos (FERREIRA, 2007).

Até na década de 80, os solos de manguezal, foram por muito tempo definidos como “solos indiscriminados” (EMBRAPA, 1978; LEPSCH *et al.*, 1983). No entanto, com a evolução das pesquisas no Brasil (PRADA-GAMERO *et al.*, 2004; FERREIRA *et al.*, 2007; OTERO; MACIAS, 2010) e no mundo (UKPONG, 1994; BANDYOPADHYAY; MAJI, 1995), o conceito de solo de mangue foi ampliado pela sua capacidade de suportar vida, fornecer alimentos, filtrar água, reciclar e depurar resíduos, além de ser formados por horizontes e/ou camadas oriundos de adições, perdas, translocações e transformações (SOIL SURVEY STAFF, 1998).

A formação, morfologia e classificação dos solos de manguezais são de fundamental importância para o entendimento da dinâmica e gestão sustentável dos seus recursos e conservação do solo (SURABIAN, 2007; ERICH, 2010). São caracterizados por serem impregnados de água, salinos, com baixo conteúdo de oxigênio e elevados teores de nutrientes e matéria orgânica (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983), e de acordo como o seu material de origem, pode ser quartzarênicos, clay, orgânicos e aluviais (EMBRAPA, 1978; OLIVEIRA, 1979; LANI, 1998; ROSSI; MATTOS, 2002). Os solos dos manguezais são do tipo halomórficos (PUPIN, 2013; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015). Quanto à coloração, as tonalidades predominantes variam do amarelo ao cinza para as amostras secas até preta/escuro com variações oliva e acinzentada para amostras úmidas (ROSSI; MATTOS, 2002).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), os solos de mangue são agrupados segundo seus componentes morfológicos, físicos e químicos em Gleissolos Tiomórficos (MARQUES, 2010) ou Organossolos Tiomórficos (FERREIRA, 2002), apresentando pH menor que 3,5 após oxidado, tendo como produto principal o ácido sulfúrico.



Quanto a vegetação, nos manguezais do Brasil as espécies arbóreas consideradas como estritamente restringidas ao *habitat* de mangue (TOMLINSON, 2016) pertencem a três gêneros: *Rhizophora* L., *Avicennia* L. e *Laguncularia* C.F. Gaertn., e sete espécies, *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii* Leechm., *R. racemosa*, *Avicennia schaueriana*, *A. germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus* (SCHAEFFER-NOVELLI, 1987; MANSANO *et al.*, 2015; PROFICE *et al.*, 2015; FLORA DO BRASIL, 2021). Outras espécies, embora não sejam típicas aos bosques de mangue, são citadas como manguezal secundário (MAIA *et al.*, 2005, TOMLINSON, 1986; 2016), como *Acrostichum aureum* L., *Conocarpus erectus*, *Hibiscus tiliaceus* L. dentre outras espécies.

Cada espécie possui características distintas quanto à tolerância à salinidade e outras adaptações fisiológicas. Dentre as principais adaptações, podem ser destacadas as estruturas destinadas ao controle interno de concentração de sais, como as glândulas excretoras de sais presentes nas folhas; os sistemas radiculares (raízes aéreas e pneumatóforos) que, além de permitirem a fixação da planta em solo frouxo, desempenham a função de garantir as trocas gasosas com o ambiente; e, reprodução por viviparidade (CINTRÓN; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; TOMLINSON, 1986, 2016). De acordo com Soares *et al.* (2003), estas características contribuem para os distintos arranjos estruturais e funcionais dos manguezais.

*Avicennia schaueriana* e *Laguncularia racemosa* possuem sistema radicular superficial, aderidos ao tronco, e estruturas secundárias nas raízes (pneumatóforos) que apresentam geotropismo negativo, além de serem responsáveis pelas trocas de gases e, excreção de sais por meio das folhas (CINTRON; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; FUME *et al.*, 2018). *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), por sua vez, caracteriza-se pelo sistema radicular aéreo (rizóforos<sup>4</sup>) que partem do tronco ou dos ramos laterais em direção ao solo, com geotropismo positivo, sustentando a árvore e auxiliando em funções fisiológicas, de nutrição e aeração.

Quanto à tolerância à salinidade, *R. mangle* elimina sal ao nível das raízes, embora seja a espécie menos tolerante a altas salinidades (CINTRON; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983). Portanto, a depender da distribuição das espécies, cada espécie possui diferentes níveis de

---

<sup>4</sup> Sistema radicular de estruturas aéreas que lhes fornece estabilidade em solo permanentemente alagado. Aqui trataremos estas estruturas como raízes, como antecipamos, visto que em outros estudos propostos por Nanuza L. de Menezes em seu artigo intitulado "Rhizophores in *Rhizophora mangle* L: an alternative interpretation of so-called "aerial roots", a mesma classifica os rizóforos como caules, levando em consideração presença de tricoesclereídes, comuns em caules, ramos portadores de raízes, com geotropismo negativo e análogos àqueles encontrados em Lepidodendrales e outras pteridófitas arbóreas do Carbonífero que, usualmente, cresciam em solos alagados.

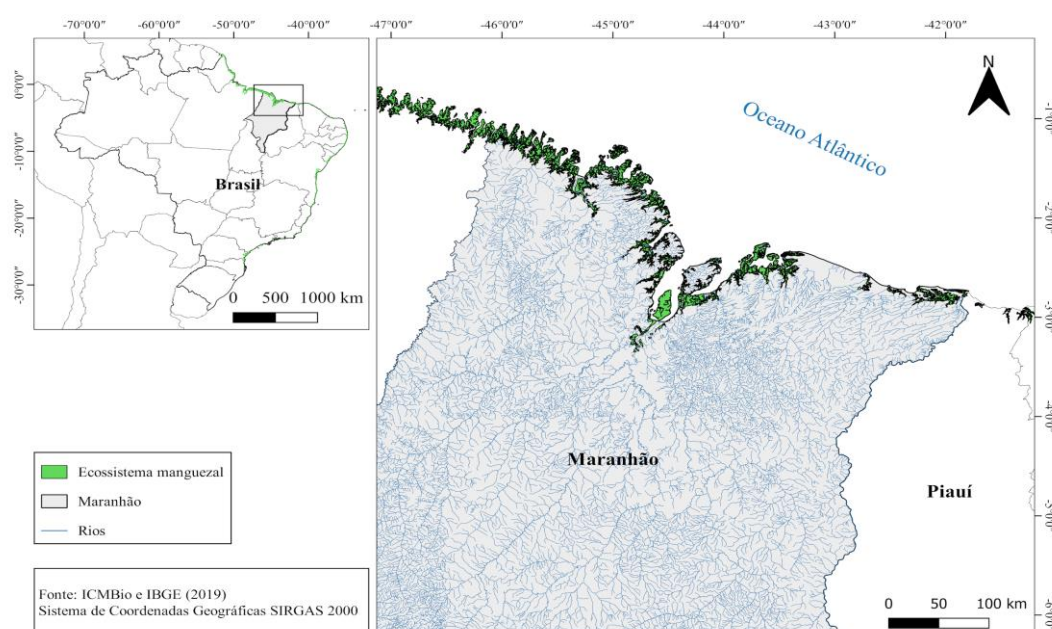
tolerância à salinidade. Para Cintron e Schaeffer-Novelli (1983), *Avicennia schaueriana* é a mais tolerante, seguida de *Laguncularia racemosa* e por último *Rhizophora mangle*.

Os manguezais abrigam ainda outras espécies vegetais que não são características, mas que ocorrem esporadicamente neste tipo de ambiente, como espécies de orquídeas, bromélias, presença de epífitas nas árvores e líquens que colonizam as bases dos troncos e das raízes escoras (LACERDA,1984; FLORA DO BRASIL 2021).

### 2.3 ECOSSISTEMA MANGUEZAL: LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO BRASIL

Atualmente, o Brasil apresenta população estimada de 211 milhões e 113.150 habitantes (IBGE, 2020), com 11 regiões metropolitanas do país, das quais cinco estão localizadas no litoral. Estima-se que cerca de 15% da população reside em áreas costeiras, resultando em maior pressão antrópica, com os assentamentos que resultam em centros de urbanização próximos de habitats costeiros ecologicamente importantes sobre os ecossistemas vinculados, a instalação de grandes resorts, a implementação de atividades de carcinicultura (cultivo de camarão), atividades industriais e portuárias e poluição das mais variadas, contribuindo assim para as mudanças nas fisionomias das paisagens (IBGE, 2005). Estima-se que 64% de todos os manguezais e 62% de todos os estuários ocorrem perto de grandes centros urbanos (MEA, 2005), e que aproximadamente 25% dos manguezais já tenham sido destruídos, tendo a aquicultura e a especulação imobiliária como suas principais causas (MMA, 2010). Entretanto, os manguezais são legalmente protegidos em muitas partes do mundo, inclusive no Brasil (BRASIL, 2012; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015), que contém uma das maiores áreas, em extensão do mundo, com cerca de 1,4 milhões de hectares (SPALDING *et al.*, 1997; BERNINI, 2008; SPALDING *et al.*, 2014), embora ocorram menos espécies que em áreas como a Ásia (TOMLINSON, 1986, 2016). Em função da maior amplitude de marés, os manguezais ocupam amplas extensões no litoral norte brasileiro, com ênfase para o Maranhão (Figura 04).

Figura 4 - Mapa do manguezal em trecho do Litoral Norte do Brasil, com ênfase no litoral do Maranhão.



Elaboração: A Autora (2021)

Por volta de 1743, surgiram no Brasil as primeiras bibliografias acerca da preservação dos mangues e nas Ordenações na Carta Régia proibindo o corte de mangues vermelhos (*Rhizophora* sp.). Após a assinatura, multas foram oferecidas a quem degradasse o manguezal: El Rey Dom José um Alvará (1760), eram punidos com multas quem degradasse o manguezal:

Segundo a medida não trazia no seu bojo a ideia conservacionista, embora conduzisse a isso. Na realidade, era a proteção de um produto econômico - o tanino - usado para curtir o couro e que era também vendido para outros países (ALVES, 2004, p.37).

Com estas descobertas tecnológicas e os primeiros produtos advindos do mangue, crescia o interesse comercial sobre as espécies de manguezais. Durante o império português, foi registrado em 25 de janeiro de 1812, o Decreto do príncipe regente D. João VI, em que era criado o Laboratório Químico do Brasil, no Rio de Janeiro. Dentre suas principais finalidades, o laboratório ambicionava descobrir demais aplicações práticas dos produtos advindos dos manguezais, iniciativa que deu grande pontapé a indústria química brasileira (CABRAL, 2003).

Na época da República, a Lei n.º 3.979/19 e o Decreto-Lei n.º 14.596/20 abordaram o arrendamento de mangues, explicitado no Decreto-Lei n.º 3.438/41, que forçava o foreiro a cuidar na preservação dos manguezais, proibindo sua derrubada. Essas medidas surgiram dentro do contexto onde o manguezal era visto, especialmente, como fonte de lenha, estacas, e tanino, tinta esta obtida da casca e caule do mangue vermelho (VANUCCI, 1999). O tanino, por muito tempo, foi um produto enviado e comercializado pela Europa, utilizado para tinturar tecidos e curtir couro em curtumes (ALVES, 2001).

No que diz respeito à fase da República Velha, que se estende de 1889 a 1930, Cabral (2003) destaca a Lei Nº 3.979/19 e o Decreto-Lei Nº 14.596/20, que abordavam o contrato de uso e fruição de um imóvel por preço e tempo determinado em áreas de mangues, o qual deveria estar dentro das normas de preservação, não permitindo o aterramento ou apossamento de suas áreas. No Código Florestal de 1934, se previa esta obrigação, por meio do Decreto n.º 23.793, de 23 de janeiro de 1934 (CABRAL, 2006). Neste decreto, as florestas foram classificadas em protetoras, remanescentes, modelo e de rendimento. Trazendo estes aspectos para o contexto atual, as remanescentes são as que formam os parques nacionais, estaduais ou municipais e aquelas em que se façam necessária a conservação por motivo de interesse em utilizar os recursos biológicos, sendo os manguezais aqui inclusos (BRASIL, 1934).

A reivindicação e reformulação da legislação florestal só se deu em 1962, quando o então Ministro da Agricultura, Armando Monteiro Filho, mediante um intenso processo de alteração dos ecossistemas, reconheceu a necessidade de se adequar a legislação ao contexto ambiental, social e econômico, e o então presidente Humberto de Allencar Castello Branco

sancionou a lei federal 4.771/1965 de 15 de setembro de 1965. O Código Florestal de 1965 aponta:

[...] reconheceu as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação natural como bens de interesse comum a todos os habitantes, considerando como de preservação permanente as situadas nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues (BRANDÃO, 2011, p. 7).

Neste sentido, os principais pontos são as leis que vinculam as Áreas de Preservação Permanente (APPs), tratadas pelo Código Florestal de 1965, que ganharam maior proteção jurídica com a lei 6.766 de 1979, pela qual não se permitia o parcelamento do solo em áreas de preservação ecológica, como prevista no art. 3º, parágrafo único, inciso V (BRANDÃO, 2011).

As cláusulas legais de preservação de áreas permanentes retomam o instituído na Política Nacional do Meio Ambiente com a Lei n.º 6.938/1981, a qual propõe a preservação, melhoria e recuperação das áreas de manguezal, além da proteção aos princípios do planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; pautando-se na preservação dos ecossistemas, bem como controle e zoneamento de atividades causadoras de degradação ou efetivamente poluidoras e ainda, proteção e recuperação de áreas ameaçadas explicitados, nos incisos III, IV, V, VIII e IX do art. 2º. Complementando, no artigo n.º 14, § 1º, a lei ainda inova ao antecipar responsabilidade civil independentemente de culpa por parte do poluidor, para com os danos causados ao meio ambiente. De forma detalhada, tem-se:

Art.14- Sem prejuízo das penalidades definidas pela legislação federal, estadual e municipal, o não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção dos inconvenientes e danos causados pela degradação da qualidade ambiental sujeitará os transgressores:

(...)§ 1º Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. O Ministério Público da União e dos Estados terá legitimidade para propor ação de responsabilidade civil e criminal, por danos causados ao meio ambiente.

Na Constituição de 1988, conforme o art. 225 “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo para as presentes e futuras gerações”. Nesta vertente, incluem-se a Zona Costeira como sendo patrimônio nacional e sua utilização seguirá as condições que assegurem sua preservação.

Mais especificamente, a Constituição de 1988 reconhece a zona costeira, o que inclui os manguezais, como de interesse especial para o Brasil, sendo definida como patrimônio nacional. A mesma se destaca como uma porção do território nacional que deve merecer atenção quanto a sua ocupação e ao uso de seus recursos. Somados a isto, o Presidente da

República, na época, sancionou a lei nº 7.661, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 1988b). Este previu o zoneamento de usos e atividades na Zona Costeira, priorizando a conservação e proteção, como é detalhado em:

Art. 3º [...] I - recursos naturais, renováveis e não renováveis; recifes, parcéis e bancos de algas; ilhas costeiras e oceânicas; sistemas fluviais, estuarinos e lagunares, baías e enseadas; praias; promontórios, costões e grutas marinhas; restingas e dunas; florestas litorâneas, manguezais e pradarias submersas; II - sítios ecológicos de relevância cultural e demais unidades naturais de preservação permanente; III - monumentos que integrem o patrimônio natural, histórico, paleontológico, espeleológico, arqueológico, étnico, cultural e paisagístico (BRASIL, 1988b).

A Resolução nº 10 do CONAMA, de 1º de outubro de 1993, define o manguezal como sendo:

[...] vegetação com influência flúvio-marinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e dispersão descontínua ao longo da costa brasileira. Nesse ambiente halófito, desenvolve-se uma flora especializada, ora dominada por gramíneas (*Spartina*) e amarilidáceas (*Crinum*), que lhe conferem uma fisionomia herbácea, ora dominada por espécies arbóreas dos gêneros *Rhizophora*, *Laguncularia* e *Avicennia*. De acordo com a dominância de cada gênero, o manguezal pode ser classificado em mangue vermelho (*Rhizophora*), mangue branco (*Laguncularia*) e mangue negro (*Avicennia*). [...] (BRASIL, 1993).

Posteriormente, novas resoluções do CONAMA foram publicadas merecendo destaque a Resolução nº 303/, publicada em março de 2002, que aponta sobre os parâmetros, definições e limites de APPs (BRASIL, 2002) e a Resolução 369, de março de 2006, na qual dispõe acerca dos casos de interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a interferência ou desaparecimento de vegetação em APPs (BRASIL, 2006). De maneira especial, a Resolução CONAMA 303/2002 (BRASIL, 2002) trouxe muita discussão, pois trata o ecossistema manguezal como uma APP, diferente da Lei 4.771/1965 que considerava as APP apenas como áreas florestadas.

A Lei Federal de nº 12.651/2012 – do Código Florestal Brasileiro vigente (BRASIL, 2012a) - no seu artigo 4º, inciso VI, apresenta como Áreas de Preservação Permanente (APPs) as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de manguezais, em que se entende que há proteção da flora associada, porém sem a proteção explícita das demais feições naturais ocorrentes no ecossistema manguezal. Contudo, no inciso subsequente, considera-se como APPs “os manguezais, em toda a sua extensão”. Conceitualmente, esta Lei apresenta o que conhecemos como manguezal como uma feição separada dos salgados e apicuns, inclusive, propõe em outro capítulo acrescentado posteriormente à sua promulgação pela Medida Provisória nº 571, de 25/5/2012, e estabelecido pela Lei Federal nº 12.727/2012 (BRASIL, 2012b).

Os apicuns que se estendem pela praia até a água no estuário na maré alta, e com a ocupação deles a água invadirá áreas ocupadas. Outro efeito dessa ocupação é a redução da produtividade dos estuários, já que animais como os caranguejos que fazem tocas nos apicuns, revolvem o solo, trazendo nutrientes para a superfície. Estes nutrientes serão transportados para os estuários quando o apicum é inundado pela maré, contribuindo assim com a cadeia alimentar do estuário e das marés (COELHO-JUNIOR, 2012). Perante isto, a Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012) relata a ocupação de apicuns e salgados por atividades de carcinicultura e salinas sendo autorizadas, desde que o uso dos apicuns e salgados seja ecologicamente sustentável em atividades de carcinicultura e salinas, obedecendo os seguintes requisitos:

Art. 11- A [...] I - área total ocupada em cada Estado não superior a 10% (dez por cento) dessa modalidade de fitofisionomia no bioma amazônico e a 35% (trinta e cinco por cento) no restante do País, excluídas as ocupações consolidadas que atendam ao disposto no § 6º deste artigo; II - salvaguarda da absoluta integridade dos manguezais arbustivos e dos processos ecológicos essenciais a eles associados, bem como da sua produtividade biológica e condição de berçário de recursos pesqueiros; III - licenciamento da atividade e das instalações pelo órgão ambiental estadual, cientificado o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e, no caso de uso de terrenos de marinha ou outros bens da União, realizada regularização prévia da titulação perante a União; IV - recolhimento, tratamento e disposição adequados dos efluentes e resíduos; V - garantia da manutenção da qualidade da água e do solo, respeitadas as Áreas de Preservação Permanente; e VI - respeito às atividades tradicionais de sobrevivência das comunidades locais (BRASIL, 2012).

Atualmente os manguezais encontram-se sob a proteção jurídica, tanto em áreas de APPs como em Unidades de Conservação (UCs), que são regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituído pela lei 9.985/2000, 55 anos após a lei 4.771/65. Visto sua importância ecológica, o ecossistema manguezal vem sendo alvo de proteção no contexto evolutivo da legislação ambiental brasileira. Entretanto, observa-se que, mesmo diante da tutela do Estado, atividades econômicas de alto impacto vêm consumindo significativas áreas de manguezal ao longo da costa brasileira, principalmente na porção nordestina (MEIRELES; QUEIROZ, 2012).

De acordo com o regime de proteção das áreas de preservação permanente, disposto no Código Florestal, art. 8º, § 2º: “A intervenção ou a supressão de vegetação nativa, em área de preservação permanente de que tratam os incisos VI e VII do caput do art. 4, poderá ser autorizada, excepcionalmente, em locais onde a função ecológica do manguezal esteja comprometida, para execução de obras habitacionais e de urbanização, inseridas em projetos de regularização fundiária de interesse social, em áreas urbanas consolidadas ocupadas por

população de baixa renda”.<sup>5</sup> De modo geral, o Código Florestal vigente é menos rígido que os anteriores, no que tange a proteção ambiental, abrindo precedentes para o uso de áreas de preservação permanente.

De modo a complementar, tem-se as áreas de proteção integral definidas pela legislação federal (Código Florestal) como áreas de preservação permanente ou como unidades de proteção integral, incluindo as dunas, mananciais, fundos de vales, matas ciliares e áreas de mangues, como citados anteriormente.

Para o ano de 2020, dentre as várias regulamentações, a resolução nº 303/2020 regulamenta a proteção das restingas, manguezais e APP's. Nesta estão subscritos:

Art. 1º Constitui objeto da presente Resolução o estabelecimento de parâmetros, definições e limites referentes às Áreas de Preservação Permanente.

Art. 2º Para os efeitos desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

(...)

VIII – restinga: depósito arenoso paralelo à linha da costa, de forma geralmente alongada, produzido por processos de sedimentação, onde se encontram diferentes comunidades que recebem influência marinha, também consideradas comunidades edáficas por dependerem mais da natureza do substrato do que do clima. A cobertura vegetal nas restingas ocorre em mosaico, e encontra-se em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, este último mais interiorizado;

IX – Manguezal: ecossistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência flúvio-marinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os estados do Amapá e Santa Catarina (...).

A Constituição do Estado do Maranhão, em seu inciso IV, do art. 241 inclui os manguezais como área de preservação permanente, e sobre essas áreas o art. 249 proíbe certas atividades econômicas, embora permita a pesquisa, o lazer controlado e as práticas de Educação ambiental (MARANHÃO, 1992).

---

<sup>5</sup> BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/legislacao/portal-legis/legislacao-1/leis-ordinarias/2012-leis-ordinarias-1>. Acesso em: 4 ago. 2020



## 2.4 O MANGUEZAL DO DELTA DO PARNAÍBA

A Zona Costeira brasileira abrange uma faixa que se estende por mais de 8.500 km voltados para o Oceano Atlântico, considerando os recortes litorâneos, como baías e reentrâncias (BRASIL, 2013; ABREU *et al.*, 2017). Por apresentar vasta diferença de ecossistemas, tais como dunas, costões rochosos, praias, banhados e áreas alagadas, restingas, manguezais, estuários, lagunas e marismas, sua riqueza natural abriga diversas espécies tanto da flora quanto da fauna, muitas das quais endêmicas e ameaçadas de extinção (MMA, 2010). Neste cenário, estão os estuários que são formados da transição entre o continente e a região marinha, e neles se encontram, na região norte do litoral do Brasil, as florestas de mangue mais altas e extensas do mundo (KJERFVE; LACERDA, 1993; MENEZES *et al.*, 2008; MAGRIS; BARRETO, 2010; SPALDING *et al.*, 2010; PELAGE *et al.*, 2019).

A maior parte (78-83%) das florestas de mangue do Brasil é encontrada nas costas dos estados do Maranhão (36%), Pará (28%) e Amapá (16%), sendo o primeiro o que apresenta maior área de mangue, entre 36 e 49% do total (KJERFVE; LACERDA, 1993). Fume *et al.* (2018), em estimativa mais recente, afirmaram que os manguezais do Estado do Maranhão ainda não apresentam alto grau de degradação como ocorre em outros estados brasileiros, embora existem pressões causadas pela expansão urbana e ações antrópicas como a carcinicultura e salinas.

Em vista de sua importância, os manguezais do Maranhão têm sido alvo de pouco estudos, e estes, se referindo a aspectos ecológicos, fitossociológicos e sistemáticos, são focados principalmente na região estuarina da capital São Luís (FROIS; ABREU 1939; DAMÁZIO, 1979; HONAISSER, 1993; MOCHEL, 1993; 2002; 2009; COSTA *et al.*, 2006; FONSECA; MOCHEL, 2016).

Na região deltaica do Rio Parnaíba, foco do presente estudo, ocorre a maior área de manguezal do leste do Maranhão, separada dos manguezais da costa ocidental maranhense por uma extensão de aproximadamente 125 km de campos de dunas ativas, englobando o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. O Delta do Rio Parnaíba (*sensu stricto*) inclui a parte oeste do litoral do Piauí e marca a fronteira entre as ecorregiões costeiras norte (macrotidal) e nordeste (mesotidal) do Brasil (MAIA *et al.*, 2005; MAGRIS; BARRETO, 2010).

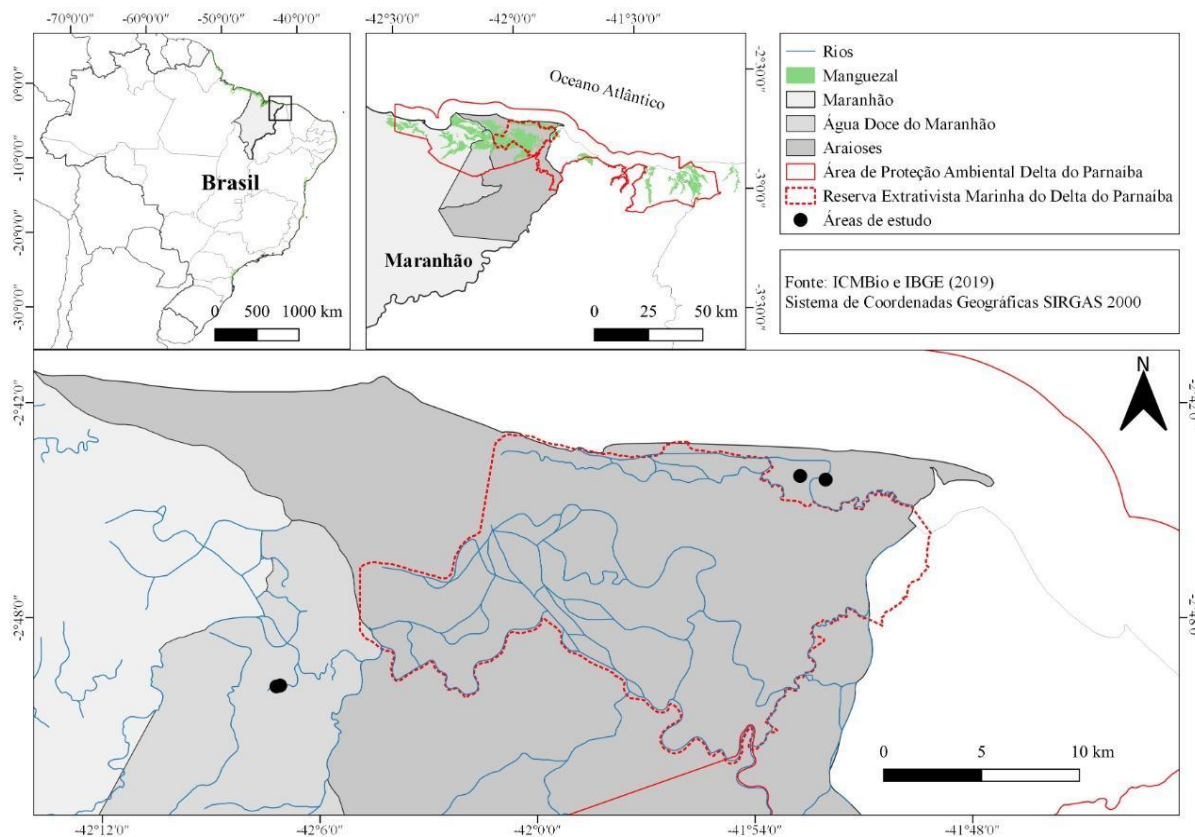
A região deltaica, propriamente dita, começa a ser formada a 30 km do oceano atlântico, onde bifurca-se o rio Parnaíba, dando origem ao rio Igarapé em sua margem direita. Este, após percorrer 21 km, passando pelo município de Parnaíba, forma seu estuário próximo ao município de Luís Correia, onde desemboca no oceano Atlântico. Formam-se, então, os rios

Canárias, Melancieiras, Caju e Tutóia, no extremo Oeste. Em ordem decrescente de fluxo, estão, o rio Canárias, Caju, Tutóia, Igarauçu e Melancieiras. Desde a desembocadura do rio Igarauçu até a desembocadura do rio Tutóia, a distância é de 90 km. Assim, o delta do rio Parnaíba se distribui por 2.700 km<sup>2</sup> de área, com aproximadamente 90 ilhas continentais, em um sistema geologicamente recente (LOEBMANN; MAI, 2010).

Os manguezais da região deltaica do Rio Parnaíba (*sensu stricto*) se encontram numa unidade de conservação - a Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Rio Parnaíba, (ICMBIO, 2019), que ocupa a maior extensão do litoral nordeste do Maranhão e toda a costa do estado do Piauí, terminando na divisa com o estado do Ceará e tendo extensão total de 2.750 km<sup>2</sup> e que se trata de uma região flúvio-marinha bastante dinâmica. As espécies vegetais descritas para estes manguezais são: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana* e *Conocarpus erectus* (DEUS *et al.*, 2003; MEIRELES, 2012; ARAÚJO, 2013; NASCIMENTO, 2014; MEIRELES, 2016), sendo as três primeiras predominantes na porção maranhense (ESPIG *et al.*, 2007; MEIRELES, 2016; MEIRELES *et al.*, 2018).

A Área de Proteção Ambiental (APA) Delta do Parnaíba, criada em agosto de 1996, possui um perímetro de 543,13 km e uma área de extensão de 309.593,77 hectares. Envolve 10 municípios sendo estes: Água Doce do Maranhão, Araióses, Paulino Neves e Tutóia, no estado do Maranhão; Barroquinha e Chaval, no estado de Ceará; e Parnaíba, Luís Correia, Cajueiro da Praia e Ilha Grande, no estado do Piauí. Dentro de seus limites e no entorno, a população moradora é de aproximadamente 360.000 habitantes. A Unidade de Conservação (UC) (linha em vermelho) abrange ainda uma área de águas jurisdicionais, que corresponde a quase 25% da sua superfície total (ICMBIO, 2019) (Figura 05).

Figura 5 - Localização da APA Delta do Parnaíba, evidenciando áreas de manguezal em sua porção norte, Brasil.



Elaboração: A Autora (2021)

A APA está localizada entre áreas de Cerrado e Caatinga. A região do Delta do Parnaíba possui além de vegetação de tabuleiros, também restingas, manguezais e mata ciliar de várzeas e vegetação sobre dunas (IBAMA, 1999). A área se encontra ainda sob forte influência amazônica da sua porção maranhense, que possui uma zona costeira constituída por um sistema contínuo de manguezais altamente complexo com o aporte de grandes quantidades de água doce, provenientes de extensos rios e igarapés e altas variações de amplitudes de maré (KJERFVE; LACERDA, 1993).

Sobrepostas à APA Delta do Parnaíba encontram-se a APA da Foz do Rio Preguiças - Pequenos Lençóis, UC do estado do Maranhão (Decreto Estadual 11.899 de 11 de junho de 1991), ocupando quase 40% de seu território; a RESEX Marinha Delta do Parnaíba (Decreto Federal s/nº de 16 de novembro de 2000), gerida pelo ICMBIO, ocupando cerca de 9% do seu território e a RPPN Ilha do Caju (Portaria 96-N – DOU 214-E - 09/11/1999 - seção/pg. 1/26), que ocupa 102 hectares, equivalente a menos de 0,04% de sobreposição.

Estudos sobre os manguezais da região do delta de Parnaíba incluem diversas abordagens, como recursos econômicos (CAVALCANTI *et al.*, 2007; AFFE *et al.*, 2018),

geografia (MOCHEL, 2002, CAVALCANTI, 2004, MAIA *et al.*, 2005), conservação (MARCELINO *et al.*, 1999; NASCIMENTO; SASSI 2001; ARARIPE, 2005; ARARIPE *et al.*, 2006). e ecológicos, fitossociológicos, sistemáticos e etnobotânicos, como os de Fernandes *et al.* (1996), Nascimento (1999), Deus (2000), Deus *et al.* (2003); Castro (2007), Andrade *et al.* (2012); Meireles (2012); Araújo (2013); Nascimento (2014); Meireles (2016), Meireles *et al.* (2017), Araujo *et al.* (2018) e Meireles *et al.* (2018).

Portanto, dada a grande extensão dos manguezais do Delta do Parnaíba e da heterogeneidade fisiográfica da área, é provável que exista muita variabilidade ecológica destes. Uma amostra em um lugar somente não é suficiente para poder fazer generalizações sobre esses manguezais e suas espécies, como por exemplo uma estimativa global do carbono estocado nos manguezais desta área, ou uma classificação mais detalhada dos vários tipos de manguezais que poderiam ser reconhecidos, seu mapeamento e quantificação em área.

Observa-se a necessidade em aumentar o número de estudos sobre os manguezais do Delta para poder chegar a um entendimento mais amplo e detalhado sobre a sua estrutura ecológica. Com essa base, será possível estimar o estoque de carbono dos manguezais e o mapeamento das suas subunidades vegetacionais. E ainda será possível no futuro próximo também seguir mais detalhadamente transformações e/ou alterações devido ou a mudanças climáticas e as ações humanas, monitoramento fundamental para a conservação do ecossistema.

## 2.5 MORFOMETRIA: CONTEXTO HISTÓRICO E ESTUDOS REALIZADOS EM ESPÉCIES DE MANGUEZAIS

O conceito de forma possivelmente iniciou com os povos babilônicos e egípcios que titulavam estas técnicas de “medida da terra”. O filósofo grego Tales de Mileto (~624-548 a.C.), por volta de 2.500 anos, traduziu esta expressão para o grego como sendo Geometria (LIMA, 1991; MLODINOW, 2005). Assim, os gregos deram os primeiros passos para a sistematização da geometria. Entre os discípulos de Tales, merece destaque Pitágoras de Samos (570-497 a.C.) que fez múltiplas revoluções na matemática e na geometria. No Egito, por volta de 300 a.C. Euclides de Alexandria (325-265 a.C.), com sua obra *Os elementos*<sup>6</sup>, faz um relato acerca da natureza em um espaço bidimensional usando-se de método dedutivo além de raciocínio lógico. Esta obra, composta supostamente por 13 rolos de pergaminhos, demonstrava em torno de 465 teoremas (MLODINOW, 2005). Euclides foi considerado o “pai da geometria”, em que se utiliza a expressão geometria Euclidiana.

Durante a idade média, o desenvolvimento independente da matemática, trigonometria e geometria continuam, principalmente no oriente médio e no extremo oriente. No ocidente, após a “idade das trevas” a geometria é retomada pelo francês René Descartes (1596-1650) que com suas ideias de coordenadas conecta geometria e matemática. Ou seja, descreve a geometria em termos de álgebra, e permite o surgimento do cálculo diferencial e integral e a ideia de espaço curvo (MLODINOW, 2005). Esta geometria e a descrição matemática serviram mais tarde como base teórica para a morfometria geométrica. Mas antes disso, precisamos entender como foram os primeiros passos na quantificação da forma dos seres vivos.

A forma dos organismos é um dos mais antigos temas investigados na biologia (MONTEIRO; REIS, 1999; ZELDITCH *et al.*, 2004), mas a expressão *morfologia* só foi impressa no século XVIII (1790) pelo poeta e naturalista alemão Johan Wolfgang von Goethe (1749-1832) (KARDONG, 1995), em que morfologia significa o “estudo da forma” ou mais exatamente o estudo de formas orgânicas.

O contorno dos organismos é a mais remota das fontes de conhecimento utilizadas pelo homem, ainda que tenha sido feita por séculos de modo apenas informal. Os primeiros registros

---

<sup>6</sup>É um tratado matemático e geométrico consistindo de 13 livros escrito pelo matemático grego Euclides em Alexandria por volta de 300 a. C. Engloba uma coleção de definições, postulados (axiomas), proposições (teoremas e construções) e provas matemáticas das proposições. Os treze livros cobrem a geometria euclidiana e a versão grega antiga da teoria dos números elementar, reunindo três grandes descobertas: a teoria das proporções de Eudoxo (Livro V), a teoria dos irracionais de Teeteto e a teoria dos cinco sólidos regulares, que ocupava um lugar importante na cosmologia de Platão.

acerca do que hoje chamamos de forma e suas correlações de modo científico foram descritas na obra de D'Arcy Thompson (1917), em seu livro *On Growth and Form*<sup>7</sup>, o qual considerou que todos os fenômenos de forma biológica poderiam ser descritos através de fórmulas matemáticas e que grandes debates na forma poderiam ser implicações de mudanças relativas quanto ao crescimento e/ou a evolução, apesar de não ter elaborado um método estatístico que pudesse mostrar seus conceitos de transformações (MONTEIRO; REIS 1999).

A escola biométrica floresceu na segunda metade do século 19 e nas primeiras décadas do século 20. Esta contribuiu e tentou analisar a variação da forma biológica pelo meio de correlações entre medidas de distâncias em estruturas biológicas, tendo os dois ingleses: Francis Galton e Karl Pearson, como os principais nomes, sendo este último “quem inventou PCA” em 1901. Estas ligações entre medidas e os conceitos estatísticos elaborados na época, tornaram-se mais tarde a base de toda a análise multivariada, sendo este assunto primeiramente identificável no período de 1930 a 1940, e que recebeu apoio de vários autores, tais como, o conceito de “distribuição normal” de Wishart (1928), os “métodos de componentes principais” tendo Hotelling (1933) dado o nome ao termo por, além a “correlação canônica” introduzida por Hotelling (1936), e a “Função Discriminante” de Fisher (1936), a principal ferramenta de análise discriminante. Esta apareceu no trabalho de Fisher (1938) com o título “The Statistical Utilization of Multiple Measurements”, enquanto Bartlett (1939) popularizou o termo “Análise Multivariada”.

O termo morfometria, como conhecido atualmente, foi formulado em 1965 por Robert Blackith, mencionando os estudos que consideravam de maneira quantitativa a variação na forma dos organismos, relacionando tamanho e forma (MONTEIRO; REIS, 1999). Com isto, podemos caracterizar como morfometria sendo “medir a forma” ou “mensurar as formas orgânicas”. Com o desenvolvimento de computadores e *softwares* a morfometria começou a utilizar técnicas multivariadas como proposto por Blackith e Reyment no clássico *Multivariate Morphometrics* (BLACKITH; REYMENT, 1971).

Com as publicações de Bookstein (1984) e Kendall (1984) morfometria geométrica ou “análise estatística de formas” passou a ser o campo de pesquisa como conhecemos atualmente. Foi somente no final dos anos 80 e início dos 90 que houve a consolidação dos estudos de morfometria geométrica com os trabalhos de Rohlf e Marcus (1993), Adams *et al.* (2004) e

---

<sup>7</sup> O livro do biólogo matemático Scottish D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948) tem sua primeira edição de 1917, com 793 páginas e 1116 páginas na segunda edição do 1942. Abrange muitos temas, incluindo os efeitos de escala na forma de animais e plantas grandes necessariamente ser relativamente em forma mostrando ainda as mudanças destas em crânios de animais e outras estruturas em plano cartesiano.

Marcus *et al.* (1996). Goodall (1983) estabeleceu um teste estatístico para estudar a forma num espaço multivariado e Bookstein (1984) propôs o método geométrico para estudar diferenças nas formas relacionando com “marcos anatômicos” (*landmarks*) (MARCUS *et al.*, 1996).

Em meados de 1986, Bookstein, Goodall e Kendall mostraram a convergência das ideias acerca do espaço de formas (MONTEIRO; REIS, 1999), período este conhecido como a “revolução na morfometria<sup>8</sup>”, uma vez chamado de morfometria geométrica, área de pesquisa na fronteira entre biologia, estatística e geometria (ROHLF; MARCUS, 1993; MARCUS *et al.*, 1996; ROHLF, 1998; MONTEIRO; REIS, 1999; RICHTSMEIER *et al.*, 2002; ADAMS *et al.*, 2004; ZELDITCH *et al.*, 2004). A popularização dos métodos de morfometria geométrica surgiu nos anos 90 quando James Rohlf começou com o desenvolvimento de programas de análise geométrica para microcomputadores (MONTEIRO; REIS, 1999; REMAGNINO *et al.*, 2017), muitos deles divulgados de forma gratuita, como é o caso a série de programas TPS.

De forma geral, Morfometria está relacionada aos estudos que abrangem forma, tamanho e suas variáveis. Relaciona-se ainda a variação e a covariação de medidas de distância, sejam estas entre pares de pontos anatomicamente homólogos ou entre pontos de tangência ou extremados de estruturas (GARCIA, 2008), além de auxiliar os estudiosos na determinação e reconhecimento de espécies e caracterização de populações (CADRIN, 2000). Segundo Jeffrey (1982), medir as variações e diferenças entre formas, possibilita meios para comparações no que se refere a caracteres morfológicos relevantes na caracterização fisiológica da planta quanto na inferência sobre a história de vida do organismo.

A morfometria tradicional, ou morfometria multivariada, utiliza paquímetro de precisão para a obtenção de medidas lineares, e consiste no estudo de variação e covariação de medidas de distância, entre pares de pontos, geralmente comprimento e largura de estruturas e, em algumas vezes, proporções e ângulos também são utilizados (ROHLF; MARCUS, 1993; MARCUS *et al.*, 1996; ZELDITCH *et al.*, 2004). A morfometria tradicional é o estudo de como e quando estas medidas variam, e de como e quando estão relacionadas entre si. Neste contexto, a principal vantagem da morfometria geométrica é a sua capacidade de conhecer a forma de um objeto diretamente, como um todo, em vez de indiretamente por meio de medidas fragmentárias como é o caso de morfometria multivariada.

A morfometria geométrica baseada em marcos anatômicos (*landmarks*) é o método mais adequado para a comparação qualiquantitativa de formas biológicas bi- e tridimensionais, por

---

<sup>8</sup> Título do artigo de Rohlf e Marcus (*A Revolution in Morphometrics*) que trazia de maneira geral os preceitos desta nova morfometria.

duas principais razões: uma base matemática mais coerente e avançada (BOOKSTEIN 1991, ZELDITCH *et al.*, 2012), e por permitir completa reconstrução e visualização das formas originais e derivadas, por exemplo, formas médias de uma população, e elementos assimétricos em contraste com elementos simétricos (RAY, 1992, SHIPUNOV; BATEMAN 2005, SILVA *et al.*, 2012). Os dois principais tipos de morfometria geométrica são os métodos de contorno (*outlines*), como na Análise Elíptica de Fourier (EFA), *semilandmarks* e *sliding semilandmarks*; e os métodos baseados em marcos anatômicos ou *landmarks* (ADAMS *et al.*, 2004, CLAUDE 2008).

A técnica de *outline* geralmente é útil para estruturas que são geneticamente homólogas (no senso biológico) ou comparáveis no senso geométrico, mas onde os *landmarks* individuais são difíceis de identificar, como é o caso da forma das folhas. Em uma folha elíptica, por exemplo, apenas a base e o ápice podem ser considerados como pontos homólogos (*landmarks*), o que impossibilita a obtenção de informações mais robustas com a técnica, principalmente para amostragens maiores. Assim, tanto EFA quanto *semilandmarks* podem ser utilizados no intuito de superar os limites impostos pelos *landmarks*, em que a primeira é ideal para estruturas com formas fechadas e a segunda para estruturas abertas. Porém, ambos os métodos necessitam estar ancorados em pelo menos dois *landmarks* (BOOKSTEIN, 1991, 1997, GUNZ; MITTEROECKER, 2013).

Os *landmarks* são pontos centrados em uma região biologicamente homóloga entre indivíduos (BOOKSTEIN, 1991), que só podem ser relacionados morfometricamente por meio de uma análise simultânea de seus conjuntos de *landmarks* (JENSEN *et al.*, 2002). As análises de *outlines* do tipo EFA são capazes de delinear matematicamente qualquer tipo de forma que apresente um contorno fechado apenas de maneira bidimensional (KUHL; GIARDINA, 1982). Já as análises do tipo *semilandmarks* quantificam pontos ao longo de curvas e superfícies homólogas, tanto bi ou tridimensionais e analisam-nas juntamente aos *landmarks* tradicionais (GUNZ; MITTEROECKER, 2013).

A morfometria geométrica tem sido usada em plantas para quantificar e caracterizar cultivares ou avaliar o relacionamento taxonômico entre espécies proximamente relacionadas e seus híbridos (OLSSON *et al.*, 2000; JENSEN *et al.*, 2002; YOSHIOKA; OHSAWA 2006; VISCOSI *et al.*, 2009; MARGINI; SCOPPOLA 2010; ADEBOWALE *et al.*, 2012).

Em se tratando de relações morfológicas e ambientais em estudos realizados em espécies de mangue, citam-se os de Moldenke (1960), realizados com quatro espécies *Avicennia* da Austrália a América Central; Duke (1990) que estudaram as relações ambientais com as variações morfológicas em flores, frutos e folhas de cinco espécies de *Avicennia* na Austrália



utilizando análises multivariadas; Dominguez *et al.* (1998) que exploraram os padrões de alteração intra- e interpopulacional na morfologia da flor do mangue vermelho (*Rhizophora mangle*); e Robot *et al.* (2018) que estudaram a morfometria de folha de *Avicennia marina*, em duas populações, diferenciando-as, mas sem comentar detalhadamente as relações simetria-assimetria.

O estudo quantitativo mais detalhado utilizando espécies de mangue foram os realizados por Duke (1990, 1991, 1992) que usou morfometria multivariada para investigar variações morfológicas em flores, frutos e folhas de cinco espécies australianas; Dominguez *et al.* (1998) que utilizaram morfometria multivariada para investigar a variação entre e dentro da população nas flores de populações mexicanas de *Rhizophora mangle*; Claude (2008) e Zelditch *et al.* (2012a, b) que aplicaram à variação da forma das folhas em espécies de mangue; e Coronado *et al.* (2008) que investigaram a variação em *Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob. (Rhizophoraceae) nas Filipinas, utilizando análise elíptica de Fourier (EFA). Para esses autores, as principais variáveis de forma simétrica correspondiam a diferenças na proporção da folha e na forma da base, enquanto as principais variáveis assimétricas pareciam expressar assimetria flutuante e, portanto, instabilidade no desenvolvimento.

Daniel (2016) reportou três espécies comumente ocorrentes na América do Norte e central, sendo *Avicennia germinans* como espécie mais bem distribuída no Novo Mundo. Na América Central, ao sul de Belize, a extensão das comunidades de manguezais e a abundância de *A. germinans* são melhor desenvolvidas ao longo do Pacífico do na costa do Caribe (MILAN; SHERROD, 1986, CAVANAUGH *et al.*, 2014). Daniel (2016) ainda comentou acerca da variação morfológica ser considerável nesta espécie, especialmente no que diz respeito ao hábito e tamanho e forma da folha. Moldenke (1960) discutiu a variação desta espécie em relação a esses e outros atributos, como por exemplo temperatura. Robot *et al.* (2018) utilizaram pontos de referência e EFA para comparar contornos foliares e parâmetros de tamanho foliar (comprimento, largura, área, perímetro) em populações de *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. em duas localidades diferentes em North Sulawesi, Indonésia.

Para o Brasil, portanto, são escassos estudos morfométricos em espécies de manguezal, podendo ser citado o de Dominguez *et al.* (1998) que investigaram padrões de mudança entre e dentro da população nas flores de *Rhizophora mangle*. Tendo em vista que existem variações de forma em espécies deste tipo de ambiente, como se observa em *Avicennia*, estudos desta natureza podem auxiliar no reconhecimento de espécies complexas, e Nascimento *et al.* (2021) que realizou análise elíptica de Fourier em contorno de folhas de *Avicennia* spp. em quatro áreas dentro do delta do Rio Parnaíba, Maranhão, sendo verificado que as espécies diferiam

significativamente quanto a forma de folha, sendo a determinação confiável apenas nas florestas de maior porte (*A. germinans* estreitamente elíptico ou oval, base aguda, vértice agudo a acuminado e em *A. schaueriana* amplamente obovado, base atenuada, ápice arredondado).

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, D. C.; ROHLF, F. J.; SLICE, D. E. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. **Italian Journal of Zoology**, London, v. 71, n. 1, p. 5-16, jan. 2004.
- ADEBOWALE, A.; NICHOLAS, A.; LAMB, J.; NAIDOO, Y. Elliptic Fourier analysis of leaf shape in southern African *Strychnos* section *Densiflorae* (Loganiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 170, n. 4, p. 542-553, nov. 2012.
- ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. **Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Minas Gerais: Epamig; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- ALVES, J. R. P. (Org.). **Manguezais: educar para proteger**. Rio de Janeiro: FEMAR: SEMADS, 2001.
- ANDRADE, A. J. P.; SILVA, N. M.; SOUZA, C. R. As percepções sobre as variações e mudanças climáticas e as estratégias de adaptação dos agricultores familiares do Seridó potiguar. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, Curitiba, v. 31, p. 77-96, ago. 2014.
- ARAÚJO, L.; SILVA, M. F. S.; GOMES, D. N.; SOUZA, M. B.; MAYO, S. J.; ANDRADE, I. M. Structure of a disturbed mangrove in the Rio Parnaíba delta, Piauí, northeast Brazil. **Feddes Repertorium**, London, n. 129: p. 75-91, jun. 2018.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; MONTOYA, L. J. V. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Florestas, Colombo, 2002. 41p. (Documentos, 73). Disponível em: [http://www.professoremerson.com/biblioteca/meioambiente/metod\\_embrapa.pdf](http://www.professoremerson.com/biblioteca/meioambiente/metod_embrapa.pdf). Acesso em: 13 set. 2019.
- BANDYOPADHYAY, B. K.; MAJI, B. Nature of acid soils of Sundarbans delta and suitability of classifying them as acid sulphate or potential acid sulphate soils. **Journal Indian Society Soil Science**, Índia, v. 43, p. 251-255, 1995.
- BERKOWITZ, A. R.; CANHAM, C. D.; KELLY, V. R. Competition vs. facilitation of tree seedling growth and survival in early successional communities. **Ecology**, Washington, v. 76, n. 4, p. 1156-1168, 1995.
- BLACKITH, R. E.; REYMENT, R. A. **Multivariate morphometrics**. Academic Press, London. 412 pp. 1971.
- BOOKSTEIN, F. L. Landmark methods for forms without landmarks: localizing group differences in outline shape. **Medical Image Analysis**, Dutch, v. 1. n. 1, p. 225-243, 1997.
- BOOKSTEIN, F. L. **Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology**. New York: Cambridge University Press. 1991.
- BRANDÃO, E. J. O ecossistema manguezal: aspectos ecológicos e jurídicos. **Revista do Curso de Direito da UNIABEU**. Nilópolis, v.1, n.2, p.1-16, ago./dez, 2011. Disponível em:

<http://www.uniabeu.edu.br/publica/index.php/rcd/article/viewFile/231/283>. Acesso em: 05 Abr. 2021.

BRASIL. Constituição de 1988. **Constituição (da) República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 15 mai. 2020

BRASIL. **Constituição Federativa do Brasil**. Diário Oficial da União. Brasília, 05 Out. 1988b.

BRASIL. Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 05 mar. 2021.

BRASIL. Decreto nº 23.763, de 23 de janeiro de 1934. **Aprova o código florestal que com este baixa**. Presidência da República, Rio de Janeiro, RJ, 23 jan. 1934.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em: 10 mai. 2021.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o novo Código Florestal**. Diário Oficial da União, 16 set. 1965.

BRASIL. Lei nº 7.661, de 16 de Maio de 1988. **Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mai. 1988b.

BRASIL. Lei Nº. 6.938, de 31 de Agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 05 fev. 2020

BRASIL. Lei Nº. 9.985, de 18 de Julho de 2000. **Regulamenta o art. 225, §1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 19 jun. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 303, de 20 de Março de 2002. **Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em 15 mai. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 303, de 20 de Março de 2002. **Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em 05 fev. 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA 369, de 28 de Março de 2006. **Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP**. Diário Oficial da União, Brasília, 29 mai. 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 10, de outubro de 1993. **Diário Oficial da União**. Brasília, 1993. Disponível em: [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br). Acesso em: 17 mai 2021.

- CABRAL, G. J. C. M. **O Direito ambiental do mangue**. João Pessoa: Sal da Terra, 2003.
- CABRAL, G. J. C. M. **O Direito Ambiental do mangue**. João Pessoa: Sal da Terra, 2006.
- CHAPMAN, V. J. Mangrove biogeography. In: WALSH, G. E.; SNEDAKER, S. C.; TEAS, H. J. (Eds.), **Proceedings of the International Symposium on Biology and Management of Mangroves**. Vol. 1, University of Florida, Gainesville, pp. 3-22, 1975.
- CHAPMAN, V. J. **Mangrove vegetation**. J. Cramer. Vaduz, Germany. 447 p. 1976.
- CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Introducción a la ecología del manglar**. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe – ROSTLAC, Montevideo, Uruguay, 1983. 109p.
- CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Los manglares de la costa brasileña: revisión preliminar de la literatura**. Montevideo: ROSTLAC/UNESCO, 1981. 67p.
- CLAUDE, J. **Morphometrics with R**. New York: Springer, 2008. 316p.
- COELHO JUNIOR, C. **Vetos de Dilma não incluíram manguezais**, que vão perder 35%. *Ciência e Meio ambiente*. Pernambuco: 22 out, 2012. Disponível em: [http://jc3.uol.com.br/blogs/blogcma/canais/codigoflorestal/2012/10/21/vetos\\_de\\_dilma\\_nao\\_incluram\\_manguezais\\_que\\_vao\\_perder\\_35\\_porcento\\_140270.php](http://jc3.uol.com.br/blogs/blogcma/canais/codigoflorestal/2012/10/21/vetos_de_dilma_nao_incluram_manguezais_que_vao_perder_35_porcento_140270.php). Acesso em: 11 jan. 2021.
- COSTA, J. L. P. O.; CAVALCANTI, A. P. B. Fitogeografia da planície deltaica do Rio Paranaíba, Piauí/Maranhão-Brasil: Análise da distribuição das espécies e interferência antrópica. *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia*, Minas Gerais, v. 2, n. 4, p. 84-92, 2010.
- COSTA, M. R. P., ALCANTÁRA E. H., AMORIM, J. E. A., & MOCHEL, F. R. Avaliação das potencialidades e fragilidades das áreas de manguezal para a implementação do ecoturismo usando ferramentas de sensoriamento remoto em Cururupu - Ma, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Minas Gerais, v. 22, n. 17, p. 237-243, 2006.
- DAMÁZIO, E. Contribuição ao conhecimento da vegetação de manguezais da Ilha de São Luis - Parte I. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, Maranhão, v.3. n.1, 1980.
- DANIEL, T. F. *Avicennia* (Acanthaceae: Avicennioideae) in North America and Mesoamerica. **Proceedings of the California Academy of Sciences**, San Francisco, v. 4, n. 63, p. 163-189, 2016.
- DAVIS, J. H. **The ecology and geologic role of mangroves in Florida**. Carnegie Inst. Wash. Pap. Tortugas Lab. No. 32. Publ. n. 517, p. 305-412, 1940.
- DELABIE, J. H. C.; PAIM, V. R. L. M.; NASCIMENTO, I. C.; CAMPIOLO, S.; MARIANO, C. S. F. As formigas como indicadores biológicos do impacto humano em manguezais da costa sudeste da Bahia. **Neotropical Entomology**, Switzerland, v. 35, n. 5, p. 602-615, 2006.
- DING, H. **A review of the genus *Rhizophora* with special reference to the Pacific species**. Blumea, 1960.

DUKE, N. C; ROELFSEMA, C; TRACY, D; GODSON, L, 2001. **Preliminary investigation into the dieback of mangroves in the Mackay region Report to the Queensland Fisheries Service**. QDPI, Brisbane, Australia. p. 81.

EGLER, F. E. Southeast saline Everglades, Florida and its management. **Vegetatio**, United States, v. 3, p. 213-265, 1952.

EGLER, F. E. The dispersal and establishment of red mangrove, *Rizophora*, in Florida. Caribb. **Caribbean Forester**, United States, v. 9, p. 299-319, 1948.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de Solos. 2. Ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA – PI 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1978. 379p. (Boletim Técnico, 45).

ERICH, E. **Pedogenic fate and transport of total mercury across subaerial and subaqueous soils in an Appalachian Plateau impoundment**. M.S. Thesis. Dept. Crop and Soil Sciences, The Pennsylvania State University, University Park, 2010.

FAO. **World Soil Resources Report 103**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Deckers JA, Nach, 2006. 145p.

FARRELL, T. M. Models and mechanisms of succession: an example from a rocky intertidal community. **Ecological Monographs**, Washington, v. 61, p. 95-113, 1991.

FATOYINBO, T.; Feliciano, E. A.; Lagomasino, D.; Lee, S. K.; Trettin, C. Estimating mangrove aboveground biomass from airborne LiDAR data: a case study from the Zambezi River delta. **Environmental Research Letters**, United Kingdom, v. 13, n. 2, p. 025012, 2018.

FERNANDES, R. T. V. **Recuperação de manguezais**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 305-310, 2012.

FERREIRA, T. O.; OTERO, X. L.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F. Are mangrove forest substrates sediments or soils? A case study in southeastern Brazil. **Catena**, Dutch, v. 70, p. 79-91, 2007.

Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 04 jun 2021.

FONSECA, I. L. A; MOCHEL, F. R. Fitomassa aérea de um manguezal no estuário do rio dos cachorros, São Luís, Maranhão, Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, Maranhão, v. 26, n.1, p. 17-25, 2016.

FONSECA, S. de M. E; DRUMMOND, J. A.: ‘The reforestation of mangrove swamps and its value in atmospheric carbon sequestration’. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 1071-81, 2003.

FRANK, D.; REICHSTEIN, M.; BAHN, M.; THONICKE, K.; FRANK, D.; MAHECHA, M. D.; SMITH, P.; VELDE, M. V. D.; VICCA, S.; BABST, F.; BEER, C.; BUCHMANN, N.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; CRAMER, W.; BROM, A.; MIGLIETTA, F.; POULTER, B.; RAMMIG, A.; SENEVIRATNE, S. I.; WALZ, A.; WATTENBACH, M.; ZAVALA, M. A.; ZSCHEISCHLER, J. Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts. **Global Change Biology**, v. 21, n. 8, p. 2861-2880, 2015.

FROIS-ABREU, S. Observação sobre a Guiana Maranhense. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, p. 26-59, 1939.

FROMARD, F.; VEGA, C.; POISY, C. Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana: A case study based on remote sensing data analyses and field surveys, **Marine Geology**, Dutch, v. 208, p. 265-280, 2004.

FUME, M. (Org). **Atlas dos Manguezais do Brasil** - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas\\_dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf). Acesso 24 mai. 2021.

GALDINO, V. S.; WEBER, G. B. Do Protocolo de Quioto: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e Sequestro de Carbono. **RDA**, v. 44, p. 112, 2008.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 1, p. 98-107, 2008.

GILMAN, E. L.; ELLISON, J.; NORMAN, C.; CAMPO, D. C. 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. **Aquatic Botany**, v. 89, n. 2, p. 237-250, 2008.

HERZ, R. **Estrutura física dos manguezais da costa do Estado de São Paulo**. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIROS, 1., Cananéia, Síntese de conhecimentos. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, publicação ACIESP 54, 1987. v.2, p. 117-137, 1987.

HONAISSER, L. **Mapeamento temático dos manguezais do médio litoral superior do sudoeste da Ilha de São Luís**. Universidade Federal do Maranhão, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão. 1993.

IBGE. 2007. **Aspectos da Contagem da População 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, outubro de 2007.

IBGE. **Dados sobre as Contas Nacionais**, IBGE, Rio de Janeiro. 2005.

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Oficina de Plano de Manejo**: Guia do participante. Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba. 2019. 96p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. 1999. **Plano de Gestão e Diagnóstico Geoambiental e Sócio-econômico da APA Delta do Parnaíba**. Fortaleza: IEPS/UECE, 101 p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014: **Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (eds.). IPCC, Switzerland. 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change. **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.** SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; BUENDIA, E. C.; MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; VAN DIEMEN, R.; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PEREIRA, J. P.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. (eds.). 2019. 874p.

JENSEN, R. J.; SCHWOYER, M.; CRAWFORD, D. J.; STUESSY, T. F. Patterns of Morphological and Genetic Variation among Populations of *Myrceugenia fernandeziana* (Myrtaceae) on Masatierra Island: Implications for Conservation. **Systematic Botany.** v. 27, n. 3, n. 1, p. 534-547, 2002.

JOHNSON, E. A. Succession an unfinished revolution. **Ecology**, v. 60, n. 238-240, 1977.

KARDONG, K. V. **Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution.** Oxford: W. C. Brown. 1995.

KJERFVE, B.; LACERDA, L. D. Mangroves of Brazil. In: LACERDA LD (Ed.). **Conservation and sustainable utilization of mangrove forest in Latin America and Africa regions.** Part I - Latin America Mangrove Ecosystem Technical Report No. 2. ITTO/ISME, Okinawa, 1993. 272 pp.

KUHL, F.P.; GIARDINA, C. R. Ellptic Fourier Features of a Closed Contour. **Computer Graphics and Image Processing**, v. 18, p. 236-258, 1982.

LACERDA, L. D. Manguezais: Floresta de Beira-mar. **Ciência Hoje**, v. 3, n. 13, p. 63-70, 1984.

LEPSCH, I. F.; SAKAI, E.; AMARAL, A. Z. **Levantamento pedológico de reconhecimento semi-detalhado da região do rio Ribeira do Iguape no estado de São Paulo.** Campinas: SAA; IAC, 1983. 1 mapa. Escala 1:100.000.

LIMA, E. L. **Medida e Forma em Geometria: comprimento, área e semelhança.** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Matemática. 1991.

MACIEL, N. C. **Alguns aspectos da ecologia do manguezal. In: Estado de Pernambuco, CPRH – companhia pernambucana de controle da poluição ambiental e de administração de recursos hídricos.** Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste. Recife: CPRH, p. 9-37, 1991.

MACINTOSH, D. J.; ASHTON, E. C. **Princípios para um código de conduta para o manejo e uso sustentável de ecossistemas de mangue.** 113p. Banco Mundial, ISME, cenTER Aarhus. Disponível em Disponível em [http://mit.biology.au.dk/cenTER/MCB\\_Files/2005\\_MCB\\_Code\\_Portugese.pdf](http://mit.biology.au.dk/cenTER/MCB_Files/2005_MCB_Code_Portugese.pdf). 2005. Acesso em 07 de dez. 2020.



- MAGRIS, R. A; BARRETO, R. Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 4, p. 546-556, 2010.
- MARANHÃO. **Lei Estadual n. 5.405, de 8 de abril de 1992**. Institui o Código de Proteção de Meio Ambiente e dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e o uso adequado dos recursos naturais do Estado do Maranhão. Diário Oficial do Estado, São Luís, Maranhão, 8 de abril de 1992.
- MARCUS, L. F.; CORTI, M.; LOY, A.; NAYLOR, G. J. P.; SLICE, D. E. Advances. In: **Morphometrics**. NATO, ASI series A: Life Sciences v. 284, Plenum Press, New York, 1996.
- MARGINI, S.; SCOPPOLA, A. Geometric morphometrics as a tool to resolve taxonomic problems: the case of *Ophioglossum* species (ferns). **Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems**, p. 251-256. 2010.
- MCLEOD, E.; CHMURA, G. L.; BOUILLON, S.; SALM, R.; BJORK, M.; DUARTE, C. M.; LOVELOCK, C. E.; SCHLESINGER, W. H; SILLIMAN, B. R. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 9, n. 10, p. 552-560, 2011.
- MCMILLAN C.; SHERROD, C. L. The chilling tolerance of black mangrove, *Avicennia germinans*, from the Gulf of Mexico coast of Texas, Louisiana and Florida. **Contributions in Marine Science**, Texas, v. 29, n. 1, p. 9-16, 1986.
- MEIRELES, M. P. A; MEIRELES, V. de J. S. SANTOS, L. V. BARROS, R. F. M. Socioeconomic profile of artisanal fishermen of the Passarinho community, Marine Protected Area of the Delta of Parnaíba, Araisos/MA. **Espacios**, Caracas, v. 38, n. 13, 2017.
- MEIRELES, V. de J. S. **Estrutura e apropriação de espécies lenhosas de mangue no Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil**. 2016. 91f. Tese (Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2016.
- MEIRELES, V. J. S. **Etnobotânica e etnozologia da comunidade pesqueira Canárias, Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba, Nordeste, Brasil**. 2012. 160 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.
- MEIRELES, V. J. S; MEIRELES, M. P. A; VIEIRA, F. J; CAMPOS, J. B. BARROS, R. F. M. Conhecimento botânico tradicional e conservação de espécies na RESEX Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil. **Espacios**, Caracas, v. 39, n. 45, p. 4, 2018.
- MLODINOW, L. A. **Janela de Euclides –A história da geometria: das linhas paralelas ao hiperespaço**. Geração Editorial, 3. ed, São Paulo. 2005.
- MMA. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília: MMA/SBF/GBA, 148 p., 2010.
- MOCHEL F. R. Mangroves of Maranhão State, North Brazil. In: LACERDA LD AND FIELD CD (Eds), **Mangrove Ecosystems Proceedings, Okinawa: ISME**, Japan. p. 1: 14. 1993.

MOCHEL, F. R. Improving visual enhancement of mangrove areas in Baía de Turiaçu, Brazil, by using HSI transformation in Landsat 5/TM imagery, Brazil. São Luís, **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, Maranhão, v. 22, n.1, p. 45-54, 2009.

MOCHEL, F. R. Programa Integrado do Estudo Ecológico dos Manguezais do Estado do Maranhão. **Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado**, v.1, n.2, p. 30-33, 2002.

NANNI, H. C.; NANNI, S. M.; SEGNINI, R. C. **A importância dos manguezais para o equilíbrio ambiental**. II Simpósio Internacional De Ciências Integradas da UNAERP Campus Guarujá. 2005.

NASCIMENTO, M. G. P.; LIMA, G. A.; ANDRADE, I. M.; GALVÍNCIO, J. D. Climatological trends for the municipality of Parnaíba Piauí/Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Pernambuco, v.9, n.1 p. 10-20, 2019.

NASCIMENTO, M. G. P.; MAYO, S. J.; ANDRADE, I. M. Distinguishing the Brazilian mangrove species *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* (Acanthaceae) by elliptic Fourier analysis of leaf shape. **Feddes Repertorium**, v. 1, n. 1 p. 1-31, 2021.

NETO, J. C.; MEYER, G. E.; JONES, D. D.; SAMAL, A. K. Plant species identification using elliptic Fourier leaf shape analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, Dutch, n. 50, 121-134, 2005.

NEUBAUER, S. C.; MEGONIGAL, J. P. Correction to: moving beyond global warming potentials to quantify the climatic role of ecosystems. **Ecosystems**, Dutch, v. 22, n. 8, p. 1931-1932, 2019.

NUNES, C. R. P. As mudanças climáticas a partir da implantação de empresas de capital estrangeiro no Nordeste: Estado regulador?. In: Araújo, A.R., Belchior, G.P.N., Viegas, T.E.S. (orgs). **Os impactos das mudanças climáticas no Nordeste brasileiro**. Fundação Sintaf, Fortaleza, Instituto O Direito por um Planeta Verde, São Paulo. 2016.

OLIVEIRA, M.; RIL, F. L.; PERETTI, C.; CAPELLESSO, E. S.; SAUSEN, T. L.; BUDKE, J. C. Biomassa e estoques de carbono em diferentes sistemas florestais no sul do Brasil. **Perspectiva**, Santa Catarina, v. 40, n.149, p. 9-20, 2016.

OLSSON, A.; NYBOM, H.; PRENTICE, H.C. Relationships between Nordic Dogroses (*Rosa* L. Sect. Caninae, Rosaceae) Assessed by RAPDs and Elliptic Fourier Analysis of Leaflet Shape. **Systematic Botany**, n. 25, v. 3, p. 511-521, 2000.

OTERO, X.L.; MACÍAS, F. **Biogeochemistry and pedogenetic process in saltmarsh and mangrove systems**. Nova Science Publishers, Inc, 2010, 259p.

PBMC. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**, 2014. Sumário Executivo do GT2. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil.

PEARSON, K. "On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space". **Philosophical Magazine**, London, v. 2, n. 11, p. 559-572, 1901.

PELLEGRINI, J. A. C. **Caracterização da planície hipersalina (apicum) associada a um bosque de mangue em Guaratiba, Baía de Sepetiba, RJ**. São Paulo, 2000. 114 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Oceanografia Biológica) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

PINTO, L. M. et al. Sequestro de carbono atmosférico no bosque do manguezal da APA da Serra do Guararú, Guarujá-SP. **Unisanta BioScience**, Santa Catarina, v. 6, n. 1, p. 51-57, 2017.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of sub-merged soils. **Advances in Agronomy**, Dutch, v. 24, p.29-96, 1972.

PORTO, M. L. **Comunidades Vegetais e Fitossociologia: fundamentos para Avaliação e Manejo de Ecossistemas**. Porto Alegre: Ed. Univ. Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS, 240 pp. 2008.

PRADA-GAMERO, R. M.; VIDAL-TORRADO, P.; FERREIRA, T.O. Mineralogia e Físico-Química dos Solos de Mangue do Rio Iriri no Canal de Bertioga (Santos, SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v. 28, n. 2, p.233-244, 2004.

PRIORI, J. R. L. **Mudanças Climáticas e possíveis impactos nas cidades costeiras do Nordeste brasileiro**. 2014. Disponível: [http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc\\_mgr/479/Priori%20Jr.%202013.%20Possiveis%20impactos%20no%20nordeste%20brasileiro%20%28portug%29.pdf](http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc_mgr/479/Priori%20Jr.%202013.%20Possiveis%20impactos%20no%20nordeste%20brasileiro%20%28portug%29.pdf). Acesso: 29 dez. 2020.

PROST, M. T. (Coord.) **Manguezais paraenses: recursos naturais, usos sociais e indicadores para a sustentabilidade**. Belém: MCT/Museu Paraense E Goeldi, SECTAM, 2001. 62 p. mapas. (Relatório Final, FUNTEC Convênio 063/98 - Programa de Estudos Costeiros, PEC).

RABINOWITZ, D. Early growth of mangrove seedlings in Panamá and a hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. **Journal of Biogeography**, 5:113-133, 1978.

RAY, T. S. Landmark Eigenshape Analysis: Homologous Contours: Leaf Shape in *Synonium* (Araceae). **American Journal of Botany**, n. 79, v. 1, p. 69-76, 1992.

RENNER, R. M. **Sequestro de Carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004. Disponível em://www.ufrgs.br/necon/2evavea(3).pdf. Acesso em 04 mar. 2021.

ROHLF, F. J.; MARCUS, L. F. A revolution in morphometrics. **Trends in Ecology and Evolution**, Dutch, v. 8, n. 4, p.129-132, 1993.

ROHLF, F. J.; MARCUS, L. F. A revolution in morphometrics. **Trends in Ecology and Evolution**, Dutch, n. 8, v. 4, p. 129-132, 1993.

ROZAINAH, M. Z.; NAZRI, M. N.; SOFAWI, A. B.; HEMATI, Z.; JULIANA, W. A. Estimation of carbon pool in soil, above and below ground vegetation at different types of mangrove forests in Peninsular Malaysia, **Marine Pollution Bulletin**, Dutch, v. 137, p. 237-245, 2018.

SAENGER, P.; HEGERL, E. J.; DAVIE, J. D. S. (Eds.). Global Status of Mangrove Ecosystems. **The Environmentalist 3** (Supplement), p. 1-88. 1983.

SANTOS, C. A. C. **Estimativa e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba.** Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFCG. 2006.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (coord.). **Manguezal: Ecosistema entre a Terra e o Mar.** São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezais brasileiros: região sudeste-sul.** In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, 1., Cananéia, 1987. Síntese dos conhecimentos. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, Publicação ACIESP 54, v.1, p.78, 1987.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal. Publicação Especial - **Instituto Oceanográfico**, São Paulo, n.7, p.1-16. 1989.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G.; SOARES, M. L. G.; DE-ROSA, M. T. Brazilian Mangroves. **Aquat. Ecosist. Health. And Manag.**, v. 3, n. 2000, p. 561-570, 2000.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C. C.; CINTRÓN, G. Monitoramento do ecossistema manguezal: estrutura e características funcionais. - *In*: A. Turra & M. R. Denadai (eds.), **Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros - ReBentos.** Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, pp. 62-80. 2015.

SCHULER, C. A. B.; ANDRADE, V. C.; SANTOS, D. S. 2000. **O manguezal: composição e estrutura.** In: BARROS, H. M.; ESKINAZI-LEÇA, E.; MACEDO, S. J.; LIMA, T. (eds.). Gerenciamento Participativo de Estuários e Manguezais. Recife, Ed. Universitária da UFPE.

SHIPUNOV, A. B.; BATERMAN, R. M. Geometric morphometrics as a tool for understanding *Dactylorhiza* (Orchidaceae) diversity in European Russia. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, n. 85, p. 1-12, 2005.

SILVA, M.F.S.; ANDRADE, I.M.; MAYO, S.J. Geometric morphometrics of leaf blade shape in *Montrichardia linifera* (Araceae) populations from the Rio Paraíba Delta, north-east Brazil. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 170, p. 554-572, 2012.

SMITH, J. E.; HEATH, L. H.; WOODBURY, P. B. How to estimate forest carbon for large areas from inventory data. **Journal of Forestry**, Oxford, v. 102, n. 5, p. 25-31, 2004.

SOARES, M. L. G. **Estudo da biomassa aérea de manguezais do sudeste do Brasil - análise de modelos.** Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. v. 2, 560 p., 1997

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy.** 8. ed. Washington, 1998.

SURABIAN, D. **Coastal zone soil survey Little Narragansett Bay Connecticut & Rhode Island.** USDA-NRCS, Connecticut. <http://www.ct.nrcs.usda.gov/coastalzone.html>. Acesso em 15 jan. 2020.

- THOM, B. G. Mangrove ecology and deltaic geomorphology, Tabasco, Mexico. **Journal of Ecology**, London, n. 55, p. 301-343, 1967.
- TURNER, T. Facilitation as a successional mechanism in a rocky intertidal community. **American Naturalist**, Chicago, v. 121, p. 729-738, 1983.
- UKPONG, I. E. Soil–vegetation interrelationships of mangrove swamps as revealed by multivariate analyses. **Geoderma**, Dutch, v. 64, p. 167-181, 1994.
- VALE, C. C. **Séries geomórficas costeiras do Estado do Espírito Santo e os habitats para o desenvolvimento dos manguezais: uma visão sistêmica**. Tese. Universidade de São Paulo. FFLCH. USP, 2004. 386f.
- VANS STEENIS, C. G. G. J. The distribution of mangrove plant genera and **it's significance for paleogeography**. Van Wetench, 1962.
- VANUCCI, M. **Os Manguezais e nós: uma síntese de percepções**. São Paulo: EDUSP, 1999.
- VISCOSI, V.; LEPAIS, O.; GERBER, S.; FORTINI, P. Leaf morphological analyses in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: A comparison of traditional and geometric morphometric methods. **Plant Biosystems**, London, p. 1-11. 2009.
- WALSH, G. E. **Mangroves: a review**. In: REINHOLD, R. & QUEEN, W. Ecology of halophytes. New York Academic, 1974.
- WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, A. B.; ANJOS, R. S.; ALMEIDA, C. A. P. As chuvas na cidade de Recife: uma climatologia de extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v.14, p. 149-164, 2018.
- WANG, X; FENG, Z; OUY ANG, Z. The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China. **Forest Ecology and Management**, Dutch, v. 148, n. 1, p. 117-123, 2001.
- YOSHIOKA, Y; OHSAWA, R. Quantitative Evaluation of Petal Shape and Picotee Color Pattern in *Lisianthus* by Image Analysis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, n. 131, v. 2, p. 261-266, 2006.
- YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. São Paulo: Annablume IEB, 2004. 280p.
- ZALDÍVAR-JIMÉNEZ, M. A. et al. Conceptual framework for mangrove restoration in the Yucatán Peninsula. **Ecological Restoration**, California, v. 28, n. 3, p. 333-342, 2010.
- ZELDITCH, M. L.; SWIDERSKI, D. L.; SHEETS, D. L. **A practical companion to geometric morphometrics for biologists: running analyses in freely-available software**. Disponível em: <http://booksite.elsevier.com/9780123869036/content/Workbook.pdf>. Acesso: 23 dez 2020. 2012b
- ZELDITCH, M. L.; SWIDERSKI, D. L.; SHEETS, D. L. **Geometric Morphometrics for Biologists, a Primer**. 2nd edition. Amsterdam. Elsevier. 478p. 2012.

ZELDITCH, M.L.; SWIDERSKI, D.L.; SHEETS, H.D. FINK, W.L. **Geometric Morphometrics for Biologists: a Primer**. Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA, 2004.

### **3 MANUSCRITOS**

**MANUSCRITO 1 - Análise elíptica de Fourier nas diferentes formas foliares em *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* no Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil**



## **Análise elíptica de Fourier das diferentes formas foliares em *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* no Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil**

Maria Gracelia Paiva Nascimento<sup>9</sup>; Simon Joseph Mayo<sup>10</sup>; Ivanilza Moreira de Andrade<sup>11</sup>

### **RESUMO**

A forma da folha é considerada diagnóstico para determinar espécies em *Avicennia*, tanto para taxonomistas quanto para especialistas locais. Assim, discriminação da forma foliar de *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* foi investigada em sete populações de quatro áreas distintas na APA Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil. A análise elíptica de Fourier de 627 folhas forneceu dados para o tamanho do centroide e sete variáveis de forma, representando 99% da variação total. As duas primeiras variáveis simétricas da forma (afetando a largura relativa, a forma da base, a ovada) expressaram 84,5% de variação e apresentaram diferenças mais expressivas. A forma das folhas nas duas espécies foi estatisticamente diferente, embora só possam ser discriminadas de forma confiável em florestas conservadas altas. A forma das folhas de *A. germinans* foi maior, tendendo de elíptica a ovada, com base aguda e ápice variando de agudo a acuminado, enquanto em *A. schaueriana* se apresentam obovadas com base atenuada e ápice arredondado. A variação na largura relativa e na forma da base predominou entre as espécies. A variação de ovada/ovoide predominou nas espécies, especialmente entre populações conservadas e em regeneração. As folhas foram significativamente menores em *A. schaueriana*. Em *A. germinans*, as folhas tornaram-se mais ovadas com o aumento do tamanho na floresta conservada, enquanto em *A. schaueriana* não foi observada alteração consistente no tamanho. Os táxons vernaculares siriba branca e siriba preta são inconsistentes com espécies científicas, mas apresentam formas de folhas significativamente diferentes em algumas populações. Ressalte-se a diferença na forma foliar entre as espécies, sendo mais discreta nas populações (regeneradas) menos perturbadas e maiores na floresta de mangue (conservadas). São necessários estudos morfométricos multivariados em diferentes escalas geográficas e combinados com dados genéticos e moleculares de forma integrativa aos dados apresentados.

**Palavras-chave:** Área de Proteção Ambiental, Manguezal, Maranhão, Morfometria geométrica, plantas nativas.

---

<sup>9</sup> Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA, UFPI, TROPEN);

<sup>10</sup> Coordenador e pesquisador do Royal Botanic Gardens, Kew, Surrey TW9, UK.

<sup>11</sup> Professora Dra. Do Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA, UFPI, TROPEN);

## ABSTRACT

The shape of the leaf is considered diagnostic to determine species in *Avicennia*, both for taxonomies and for local experts. Thus, discrimination of the leaf form of *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* was investigated in seven populations in four different areas of mangroves in the APA Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brazil. Elliptic Fourier analysis of 627 leaves provided data for centroid size and seven shape variables representing 99% of total variation. The first two symmetric shape variables (affecting relative width, base shape, ovateness) expressed 84.5% of variation and showed strongest differences. Leaf shape in the two species is statistically different, but they could only be discriminated reliably in tall conserved forest. Leaves in *A. germinans* tended to narrowly elliptic and narrowly ovate with acute base and acute to acuminate apex, and in *A. schaueriana* to broadly obovate with attenuate base and rounded apex. Shape variation in *A. germinans* was greater. Variation in relative width and base shape predominated between species. Variation in ovateness predominated within species, especially between conserved and regenerating populations. Leaves were significantly smaller in *Avicennia schaueriana*. In *A. germinans* leaves became more ovate with increasing size in conserved forest, whereas in *A. schaueriana* no consistent size-shape change was observed. Vernacular taxa *siriba branca* and *siriba preta* are inconsistent with scientific species but had significantly different leaf shapes in some populations. Another point is about the difference in the leaf form between the species, where it was more discreet in the less disturbed and larger (regenerated) populations of the mangrove forest (conserved). Multivariate morphometric studies at different geographic scales and combined with genetic and molecular data are needed in an integrative way with the data presented.

**Keywords:** Environmental Protection Area, Mangrove, Maranhão, Geometric morphometry, native plants.

## INTRODUÇÃO

*Avicennia* L. é um gênero da família Acanthaceae Juss., distribuído ao longo das costas tropicais e subtropicais das costas do Pacífico oriental e atlântico das Américas e representados por oito espécies distribuídas no leste e oeste da África, na região indo-pacífica e nas Américas (DUKE, 1992; DODD; RAFII; BOUSQUET-MÉLOU, 2000, TOMLINSON, 1986; 2016). São plantas típicas de manguezais em todo o mundo, ocorrendo na zona das marés, mas também com alta tolerância às condições hipersalinas

devido às glândulas e anatomia adaptadas ao *habitat* (BORG *et al.*, 2008; MCDADE *et al.*, 2008, TOMLINSON, 1986; 2016).

Duas espécies foram registradas para o Brasil, *Avicennia germinans* (L.) L. e *A. schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, ambas ocorrendo ao longo da costa Nordeste do Brasil (ARAÚJO *et al.*, 2018, PROFICE *et al.*, 2020), embora seja necessária observação cuidadosa para a identificação correta dessas espécies. Ambas espécies são nativas, mas não endêmicas, e ocorrem nas regiões Norte (Pará), Nordeste (Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Rio Grande do Norte), Sudeste (Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo) e Sul (Paraná, Santa Catarina) (*Avicennia*, in FLORA DO BRASIL, 2020, 2020). No Maranhão, *A. germinans* é conhecida pelos nomes vernaculares mangue-preto, siriba ou sereiba, e *A. schaueriana* como siriba branca (FAO, 2007). Ambas as espécies são registradas no Piauí (ANDRADE *et al.*, 2014; FLORA DO BRASIL, 2020), onde são conhecidas como siriba branca, siriba preta e seriba. No Maranhão, *A. germinans* usado como apetrechos de pesca, construção de casas, construção de barcos e produção de carvão vegetal (MEIRELES, 2012; 2016).

As árvores de *Avicennia* podem atingir 30 m de altura, e quando arbustivas, podem ser densamente ramificadas e terem raízes com pneumatóforos especializados para excreção de sal. A casca pode ser áspera, dura e fissurada ou ainda quadriculada (*A. germinans*). O pecíolo foliar possui um sulco basal curto (1 a 3 cm) e uma lâmina foliar coriácea com um meio-dia proeminente (TOMLINSON, 2016). As plantas se reproduzem por viviparidade e mostram outras características típicas de *habitats* costeiros (BORG *et al.*, 2008; MCDADE *et al.* 2008, APG IV 2016).

A maioria dos estudos sobre manguezais realizados até o momento concentrou-se principalmente em aspectos relacionados à sua importância para o ser humano, em relação a: i) mudança na área de manguezal ao longo do tempo (principalmente estudos utilizando análise de imagens de satélite), ii) monitoramento de atividades industriais relacionadas a áreas de mangue (cultura do camarão, produção de sal, urbanização etc.), também frequentemente com o auxílio de imagens de satélite; iii) etnobotânica e as relações com florestas de mangue em comunidades pesqueiras tradicionais em todo o Delta; iv) análise da legislação que controla atividades que são permitidas no Delta, gestão de áreas de conservação, deficiências desta última e pressão de atividades ilegais na área.

Alterações morfológicas nas plantas são encontradas em diferentes manguezais sob diferentes condições de salinidade quando comparadas às normais (CLOUGH, 1984; SPALDING *et al.*, 2010). As plantas de *Avicennia* são mais tolerantes a essas mudanças (SPALDING *et al.*, 2010). Embora as espécies deste gênero sejam reconhecidas por meio

de caracteres florais, a variabilidade e a mudança de caracteres são geralmente mais evidentes nas folhas (ROBOT *et al.*, 2018), que são as estruturas das plantas que mais claramente sofrem alterações em relação às condições de *habitat* nas quais os manguezais estão crescendo (NURAKHMAN, 2002).

A morfometria geométrica é a melhor abordagem para comparar formas biológicas bidimensionais do ponto de vista quantitativo, especialmente em plantas. Essas técnicas capturam as características geométricas das estruturas usando coordenadas de pontos para locais homólogos (landmarks) ou contornos (semilandmarks). As configurações de pontos resultantes podem ser analisadas diretamente ou usadas para gerar outros tipos de variáveis de forma (análise de Fourier). Vários autores utilizaram essa abordagem para estudos morfológicos e sistemáticos (RAY, 1992; YOSUKE *et al.*, 2004; VISCOSI *et al.*, 2010).

Na área de estudo, essas técnicas foram utilizadas por Silva *et al.* (2012) em um estudo de variabilidade foliar em *Montrichardia* e por Vieira *et al.* (2014) para um estudo da variação da forma das folhas em *Anacardium occidentale*. Nos manguezais, Dominguez *et al.* (1998) investigaram padrões de mudança entre e dentro da população nas flores de *Rhizophora mangle*.

Estudos quantitativos de espécies de mangue foram realizados por Moldenke (1960) sobre as relações entre morfologia e *habitat* que diferenciavam quatro espécies de *Avicennia* na Austrália e na América Central. Estudos analíticos envolvendo relações com o *habitat* foram realizados especialmente por Duke (1990; 1991; 1992), que utilizaram análises multivariadas para investigar variações morfológicas em flores, frutos e folhas de cinco espécies de *Avicennia* na Austrália. Robot *et al.* (2018) compararam caracteres morfométricos das folhas de *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. em diferentes localidades na Indonésia. Muitos outros estudos podem ser mencionados, em relação às chuvas (GILMAN *et al.*, 2008), mudanças climáticas (DIEHL *et al.*, 2010, NASCIMENTO *et al.*, 2019), fitossociologia (CITRON *et al.*, 1978, CLOUGH *et al.*, 1982, PROFICE *et al.*, 2015, ARAÚJO *et al.*, 2018).

Os manguezais também foram estudados quanto ao seu potencial como fonte de compostos industrialmente aplicáveis. Pesquisas químicas incluem estudos de iridoides e flavonóides glicosilados (FENG *et al.*, 2006), diterpenos (SUBRAHMANYAM *et al.* 2006), naftoquinonas (ITO *et al.*, 2000). Foi relatada bioatividade, como inibidores da colinesterase (SUGANTHY *et al.*, 2009) e o uso de manguezais para o tratamento de fungos nas raízes das culturas de quiabo e feijão (TARIQ *et al.*, 2006). Além disso, existem estudos de bioprospecção e a purificação de compostos de interesse (ALIZADEH *et al.*, 2012; Zheng *et al.*, 2014; CALDERANI *et al.*, 2018), mostrando que os manguezais são importantes não

apenas por suas propriedades ecológicas e estruturais, mas também por uma série de estudos biotecnológicos.

Tomlinson (1986: 192-193) apresentou números mostrando uma gama considerável de variabilidade na forma das folhas entre as espécies de *Avicennia*, mas não foi realizado um estudo quantitativo que combina morfometria (quantitativa) e taxonomia (qualitativa) em uma investigação dessa fonte de variabilidade e seu potencial para determinação das espécies. Duas espécies de *Avicennia* foram relatadas na região norte do litoral do Brasil (DEUS *et al.*, 2003; EL-ROBRINI *et al.*, 2006; ESPIG *et al.*, 2007; MEIRELES, 2012; ARAÚJO, 2013, MEIRELES, 2016; ARAÚJO *et al.*, 2018), porém até agora apenas uma espécie foi relatada para a parte do Maranhão no delta de Parnaíba (ANDRADE *et al.*, 2014; MEIRELES, 2016), apesar das claras diferenças observadas em campo e do uso de diferentes nomes vernáculos pela população local, o que sugeriu a necessidade de um estudo mais sistemático e detalhado. Tomlinson (2016) distinguiu *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* apenas em caracteres florais: presença ou ausência de pubescência na superfície interna da corola, grau de zigomorfia da corola e desigualdade de comprimento entre os estames.

A região do Delta do Parnaíba é uma área importante de vegetação de mangue no litoral norte do Brasil e existe uma grande necessidade de aumentar o número de estudos para chegar a um entendimento mais completo de sua estrutura ecológica e monitorar de maneira mais eficaz os efeitos de atividades humanas, levando a uma gestão coerente e bem-sucedida desse importante ecossistema.

Portanto, objetivou-se com o presente estudo testar as seguintes hipóteses: 1) existem duas espécies de *Avicennia* reconhecíveis no Delta do Parnaíba, utilizando caracteres taxonômicos de diagnóstico aceitos. 2). As duas espécies podem ser distinguidas pela sua forma de folha. 3). Há diferenças de formato das folhas entre as espécies não são significativamente afetadas por outros fatores, como o nível de perturbação da vegetação, localização geográfica e parâmetros ecológicos relacionados.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Autorizações e caracterização da área para desenvolvimento do estudo**

Este estudo teve o parecer do Sistema de Autorização e Informação da Biodiversidade (SISBIO) do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio sob nº 61641. Submeteu-se ainda ao Patrimônio Genético/CTA sob o nº AE57515

no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), em atendimento ao previsto na Lei de nº 13.123/2015.

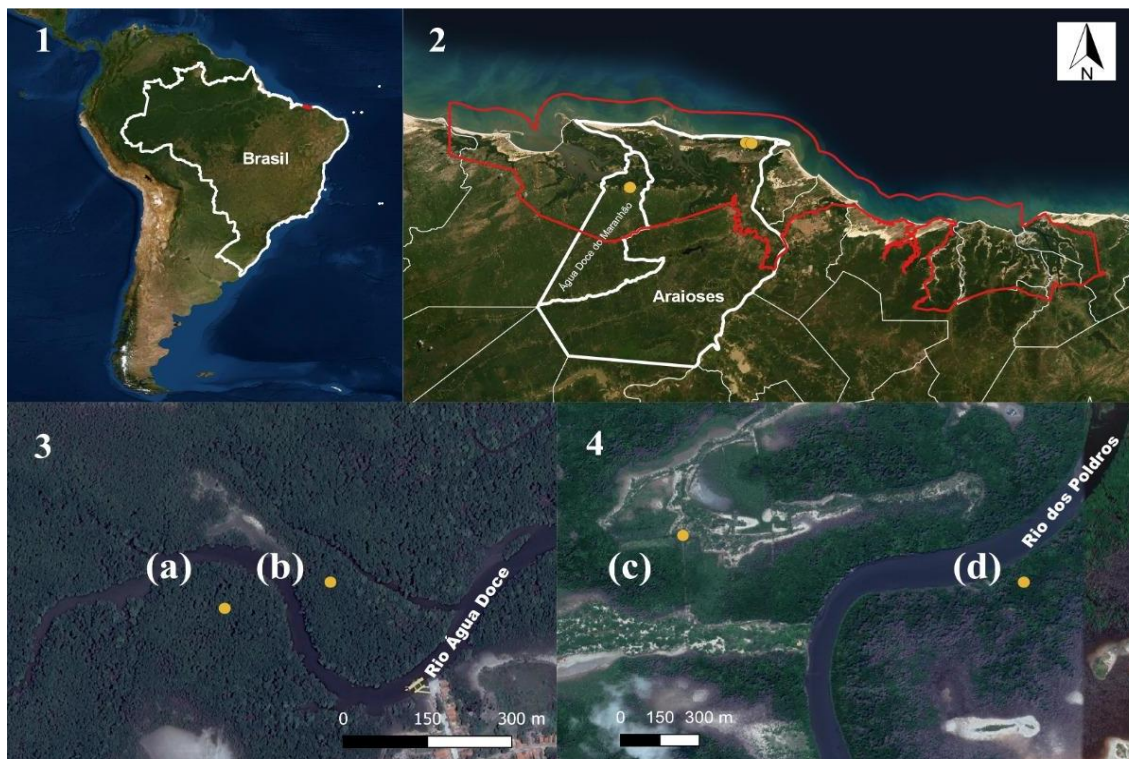
O estudo foi realizado no estado do Maranhão, na Área de Proteção Ambiental Delta do Rio Parnaíba (APA), que cobre área de 2.750 km<sup>2</sup>, e 70% de sua área fica no estado do Maranhão (IBAMA, 1998). Nesta região, o clima é tropical subúmido, com duas estações bem definidas, a estação chuvosa de janeiro a junho, com precipitação média mensal de 224 mm e uma estação seca de julho a dezembro; as temperaturas médias anuais variam entre 22,7 ° C e 31,6 ° C (CORREIA FILHO, 2011b). Os solos incluem gleissolos, neossolos flúvicos e neossolos quartzarênicos devido à invasão de dunas (EMBRAPA, 2006). Os solos dos manguezais são compostos por depósitos de lodo, areia e material coloidal dos rios. As áreas de estudo foram selecionadas com o objetivo de comparar manguezais, considerando-se uma área que sofre maior impacto humano (município de Água Doce do Maranhão) com a de uma região relativamente remota com menos distúrbios humanos gerais (município de Araióses). Em cada município, foram selecionadas para amostragem uma área em regeneração de uso industrial anterior para a produção de sal e uma área conservada que não se sabe ter sofrido perturbações humanas significativas (CORREIA FILHO, 2011b).

O município de Água Doce do Maranhão possui uma área de 443 km<sup>2</sup> e uma população de cerca de 12.571 pessoas (IBGE, 2017, 2020) e fica a uma altitude aproximada de 21 m acima do nível do mar. Os locais de estudo estavam situados a cerca de 400 m a montante da cidade de Água Doce, o centro político e administrativo do município. As duas áreas de manguezais amostradas estavam situadas a uma distância de 200 m de cada lado do igarapé (igarapé) que passa pela cidade em uma área de depósitos de lama deltaica ao norte da borda da superfície terciária na qual a cidade repousa (CORREIA FILHO, 2011a e b). A área amostrada de mangue é facilmente acessível, pois Água Doce está situada na rede estadual de estradas e o mangue fica a uma curta viagem de barco do píer da cidade. A área em regeneração, na cidade de Água Doce do Maranhão, conhecida localmente como Ilhazinha ou Salina e localizada a 2 ° 49' 53,5"S, 42° 07' 6,0" W, era anteriormente utilizada para a produção de sal e está em recuperação há 50 anos quando a empresa Salineira do Igoronhon SA (ESNISA) exportou sal marinho da região, influenciando social e economicamente a população, porém somente em 1993 as salinas foram desativadas permanentemente, em face da fiscalização e consequente queda de renda (PREFEITURA, 2013); a floresta apresentou altura média geral de 9,23m (Dados não publicados de Nascimento et al. 2021). A área conservada, conhecida como Mangueirão e localizada a 2° 49' 55,1" S, 42° 07' 12,1" W, não era conhecida por ter sido perturbada de acordo com

informantes locais, e possuía uma altura média geral de 13,08 m (Dados não publicados de NASCIMENTO *et al.*, 2021).

O município de Araiões, com uma área de 1.783 quilômetros quadrados e uma população de cerca de 46.440 habitantes, fica a 6 m de altitude acima do nível do mar. As duas áreas de estudo no município de Araiões estavam localizadas a 30 km (em linha reta) das de Água Doce. Os locais estavam situados em ilhas deltaicas, compreendendo uma mistura de manguezais intercalados com áreas de dunas móveis ao longo da costa do mar a 1 km de distância e várias áreas de dunas fixas e com vegetação. A área é relativamente remota e acessível apenas de barco ou a pé. Há um único assentamento na vila de Canárias, a cerca de 4,5 km de distância em linha reta, com população de cerca de 1.700 pessoas (Vieira et al. 2014). A área de regeneração estava localizada na Ilha das Barreiras, situada a 2° 44'9, 04"S, 41° 52' 44,68" W, e havia sido previamente desmatada para a produção de sal. Esse uso industrial havia sido interrompido 23 anos antes e, desde então, a floresta de mangue atingiu 5,59 m de altura (NASCIMENTO *et al.*, 2021). A área conservada estava localizada na Ilha dos Poldros a 2° 44' 6,8 "S, 41° 52' 2,9" W, 1,3 km a leste da área em regeneração. Aqui, a floresta de mangue era muito alta, atingindo média de 32,01m de altura (Nascimento et al. 2021) e foi considerada conservadas quanto a ação humana (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização das quatro áreas estudadas dos municípios de Araiões e Água Doce, estado do Maranhão, na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil, utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS (2000), dados de ICMbio e IBGE (2019): 1. América do Sul com destaque para o Brasil, em branco; 2 – Municípios de Água Doce do Maranhão a oeste e Araiões, à leste, em vermelho a delimitação da APA Delta do Parnaíba; em amarelo estão os pontos correspondendo as quatro áreas em seus respectivos municípios; 3 – Áreas em imagem de satélite aproximada correspondente ao Município de Água Doce do Maranhão; A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); 4 – Áreas em imagem de satélite aproximada correspondente Município de Araiões; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros).



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

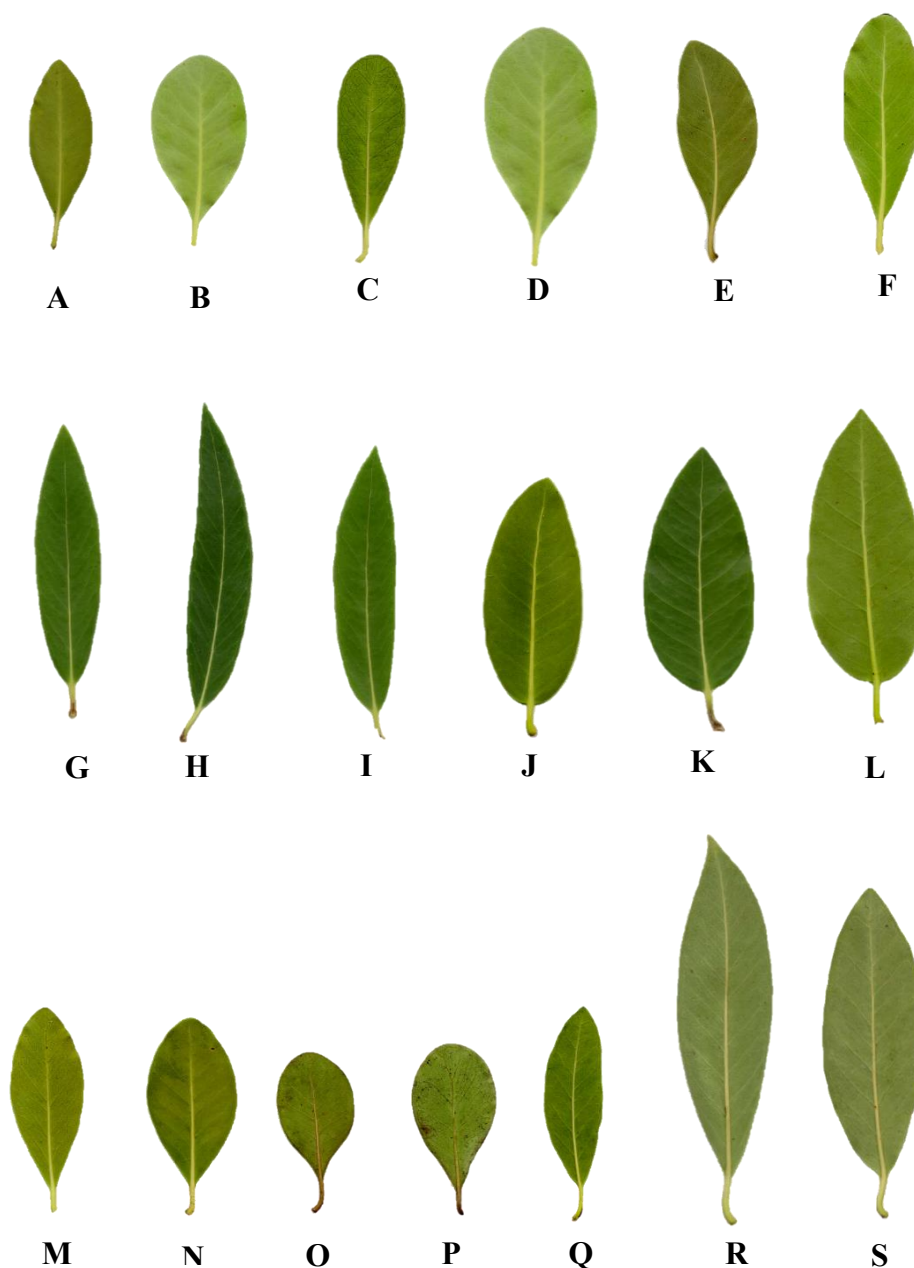
## Amostragem

O plano de amostragem foi concebido como um projeto balanceado (amostragem igual em cada uma das quatro áreas) para cada um dos dois grupos vernáculos (siriba branca, siriba preta) reconhecidos por informantes locais experientes de cada um dos dois municípios (Água Doce do Maranhão, Araiões). No entanto, apenas a siriba branca estava presente na área de regeneração de Água Doce, e, portanto, o desenho final consistiu em sete classes (populações definidas) combinando contrastes em espécies, geografia, nível de perturbação e grupo vernacular (Tabela 1; Figura 2).

A identificação das espécies foi baseada na chave de *Avicennia* publicada por Tomlinson (1986; 2016), que distingue *A. germinans* e *A. schaueriana* entre si e as outras espécies exclusivamente por caracteres florais - corola, zigomorfia, indumento da superfície interna e desigualdade no comprimento do estame (Figura 3).



Figura 2 - Variação foliar em todas as populações de *Avicennia* spp. ao longo das sete áreas. A: *A. schaueriana*, Água Doce, regeneração, siriba branca. B-C: *A. schaueriana*, Água Doce, conservada, siriba branca. D, E, F: *A. germinans*, Água Doce, conservada, siriba preta. G, H, I, J, K, L: *A. germinans*, Araiões, regeneração, siriba branca. M-N: *A. germinans*, Araiões, regeneração, siriba preta. O-P: *A. schaueriana*, Araiões, conservada, siriba preta. Q, R, S: *A. germinans*, Araiões, conservada, siriba branca.



Fonte: Dados da pesquisa (2020)

Para análise da forma, foram amostradas aleatoriamente 30 árvores em cada uma das sete populações definidas, de acordo com a ocorrência e distribuição de cada espécie em cada área. Folhas maduras foram selecionadas do quarto ao sexto nó entre três brotações diferentes em cada árvore. Folhas danificadas e distorcidas foram evitadas. As folhas (3) de

uma árvore (SB\_1046, *A. germinans*, Araíoses, área conservada) foram posteriormente removidas da amostra, pois haviam distorção indevida causada por insetos galhadores.

Tabela 1 - Detalhes das sete populações definidas para *Avicennia* spp.

Município	Localidade	Latitude and Longitude	Interferência Humana	Código das espécies	Nome vernacular	Vouchers*
Água Doce (n = 270)	Ilhazinha-Salina (n = 90)	2° 49' 53.5" S, 42° 07' 6.0" W	Regeneração (n = 90)	<i>schaueriana</i> (agdocSchauReg)	<i>siriba</i> (n = 90)	MGPN**
	Mangueirão (n = 180)	2° 49' 55.1" S, 42° 07' 12.1" W	Conservado (n = 180)	<i>schaueriana</i> (agdocSchauCon)	<i>siriba</i> (n = 90)	MGPN
				<i>germinans</i> (agdocGermCon)	<i>siriba preta</i> (n = 90)	MGPN
						1059 to 1088
Araíoses (n = 357)	Ilha das Barreiras (n = 180)	2° 44' 9.04" S, 41° 52' 44.68" W	Regeneração (n = 180)	<i>germinans</i> (araiGermRegBra)	<i>siriba</i> (n = 90)	MGPN
				(araiGermRegPre)	<i>siriba preta</i> (n = 90)	MGPN
						814 to 843
	Ilha dos Poldros (n = 177)	2° 44' 6.8" S, 41° 52' 2.9" W	Conservado (n = 177)	<i>schaueriana</i> (araiSchauCon)	<i>siriba preta</i> (n = 90)	MGPN
				<i>germinans</i> (araiGermCon)	<i>siriba</i> (n = 87)	MGPN
					<i>branca</i>	1029 to 1058***

\* Depositado no herbário HDELTA; \*\* MGPN = M.G.P. Nascimento; n = número de folhas amostradas (3 por árvore);

\*\*\* Na área conservada de Poldros, verificou-se que as folhas de MGPN 1046 de *A. germinans* estavam distorcidas por galhadores e não foram utilizadas.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

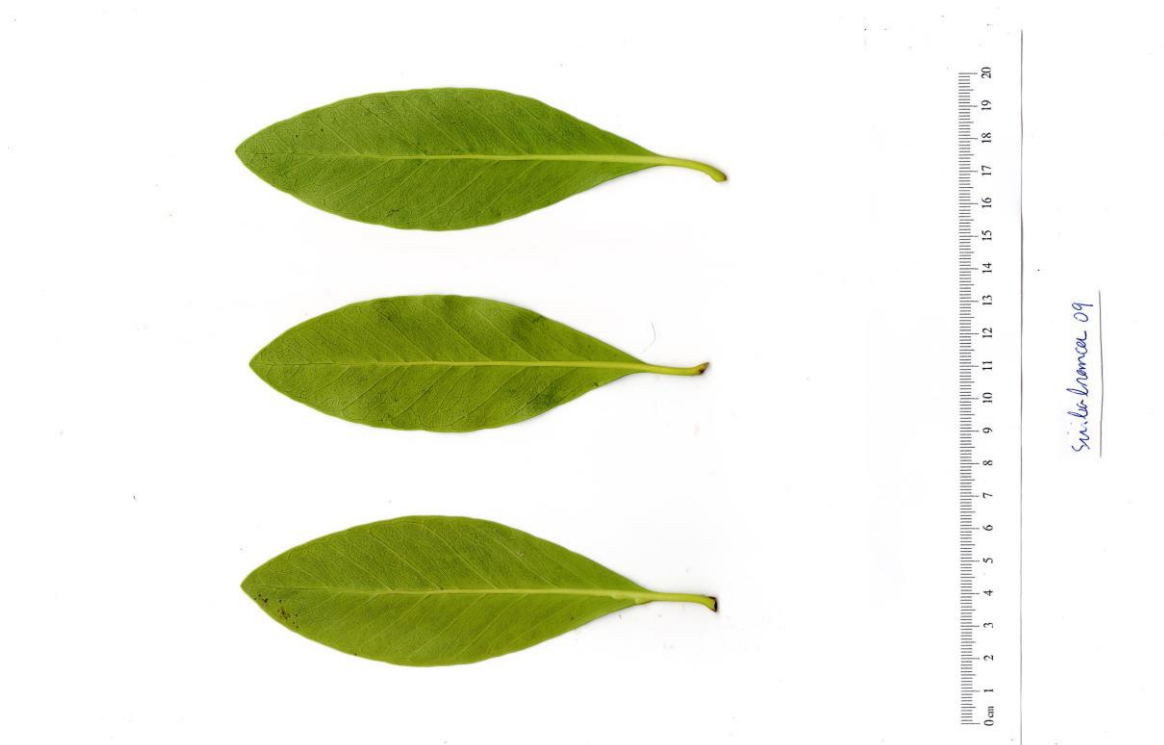
Amostras (*Voucher*) para herbário das quatro populações estudadas foram preparadas usando procedimentos padrão de campo e herbário (FIDALGO; BONONI, 1989) depositadas suas duplicado nos herbários da Universidade Federal do Piauí, Herbário Graziela Barroso (TEPB) em Teresina e Herbário HDELTA na Universidade Federal do

Delta do Parnaíba, *Campus* Ministro Reis Velloso, em Parnaíba. Além do material *in vivo*, as determinações de espécies foram feitas usando amostras de referência nesses dois herbários, o banco de dados *online speciesLink* (SPECIESLINK, 2020) e a literatura taxonômica, especialmente Tomlinson (1986; 2016). Os nomes científicos dos táxons foram verificados em bancos de dados online do Jardim Botânico do Missouri, Jardim Botânico de Nova York e Jardim Botânico do Rio de Janeiro, entre outros. A classificação familiar seguiu APG IV (2016).

### **Digitalização das imagens**

A forma de cada folha amostrada foi capturada digitalizando seu contorno, ou seja, registrando o contorno como uma série de coordenadas bidimensionais estreitamente posicionadas (x e y). As três folhas de cada árvore, dispostas de maneira que seus eixos ficassem mais ou menos paralelos, foram digitalizadas como uma única imagem em seu lado abaxial usando uma impressora-scanner EPSON Xp-401 modelo c462A com uma escala fornecida por uma régua (cm e mm). As imagens digitais foram reduzidas em tamanho para aprox. 100 KB para facilitar a digitalização e, em seguida, foi feito o giro para que as pontas das folhas ficassem voltadas para a esquerda, para facilitar a digitalização (Fig. 3). O software tpsDig2 versão 2.17 (ZELDITCH *et al.*, 2012; ROHLF, 2013a) foi então utilizado para digitalizar os contornos das folhas. Cada imagem recebeu um código de referência exclusivo usando a opção "Informações da amostra" e uma gravação separada de sua escala usando a ferramenta de imagem "Medir". A ferramenta de referência foi usada para colocar os pontos de referência 1 e 2, respectivamente, na base e no ápice da lâmina da folha. A parte do pecíolo imediatamente abaixo do primeiro ponto de referência foi apagada usando a ferramenta de imagem "Pintar" (ponto de bissecção 1), selecionando a cor branca e aumentando a largura da ferramenta.

Figura 3 - Representação da organização das folhas por indivíduos para captura de contorno em software tpsDig2.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

O limite correto para digitalizar o contorno foi obtido usando a ferramenta Contornos, com a opção Objeto "leve" selecionada. O valor ideal do limiar foi obtido ajustando as opções "Limiar", "Visualizar" e "Restaurar" para que o contorno não tenha quebras de branco quando visualizado como uma imagem binária, e a imagem binária tenha o mais próximo possível da forma e do contorno da imagem colorida. Depois de limiar corretamente, a imagem foi suavizada usando a janela Ferramentas de imagem, selecionando "Aprimorar / Filtro do usuário / Desfoque", executando este ciclo três vezes. Às vezes, foi necessária uma edição adicional da base da folha no ponto de referência 1, usando a ferramenta "Pintar" colorida em preto para garantir uma borda preta contínua. A ferramenta "Outline" foi usada para digitalizar o contorno da folha no modo binário ("Thresholded"); a ponta da seta do cursor foi posicionada imediatamente à direita do ponto de referência 1 antes de clicar - a ferramenta funciona disparando para a esquerda. As coordenadas do contorno foram capturadas clicando com o botão direito do mouse e usando a opção "Ajustar como cordas XY"; e especificando 400 coordenadas. Os dados foram salvos em arquivo TPS usando a ferramenta de menu, e os dados capturados em folhas sucessivas foram adicionados ao primeiro usando a opção "Anexar" na ferramenta "Salvar dados no arquivo TPS". Os dados de cada população foram capturados em arquivos TPS separados para minimizar os problemas causados por erros e sua correção. Após todas as

populações digitalizadas, foram verificadas no Bloco de Notas e editadas para converter todos os pares de coordenadas em pontos de referência, editando a linha LM para LM = 402 e excluindo as linhas OUTLINES = 1 e POINTS = 400. Os sete arquivos TPS foram concatenados usando o software tpsUtil versão 1.78 (ROHLF, 2013b) com a opção "Anexar arquivo" para compilar um único arquivo TPS final com todos os 627 contornos.

### **Análise de dados**

O arquivo de contornos foi analisado usando a análise elíptica de Fourier (EFA). Essa abordagem analítica é útil para formas como as folhas simples de *Avicennia*, que têm poucas homologies claras de posição biológica (MONTEIRO, REIS 1999, ZELDITCH *et al.* 2012a). O contorno da folha, como uma série de coordenadas representando os pontos amostrados ao longo da margem da folha, foi decomposto matematicamente em uma série potencialmente infinita de elipses chamadas harmônicas, cada uma das quais é representada como um conjunto de quatro coeficientes numéricos (a, b, c, d). Essa representação numérica foi então usada para reconstruir o contorno original. Quanto maior o número de harmônicos usados para a reconstrução, mais exatamente o contorno reconstruído corresponde ao contorno original. O número de harmônicos necessários para expressar a forma adequadamente para os objetivos do estudo deve ser decidido pelo investigador e, uma vez determinado, o formato de cada folha é representado pelo conjunto de coeficientes de Fourier correspondentes aos harmônicos. Assim, se dez harmônicos forem usados para representar os contornos das folhas, cada folha será representada por um vetor de 40 números reais, os coeficientes de Fourier. Como cada folha tem uma forma um pouco diferente de todas as outras, esses vetores numéricos também variam de uma folha para outra, e é essa variação que é analisada por procedimentos multivariados subsequentes, como a análise de componentes principais (HAMMER; HARPER, 2006; ANDRADE *et al.*, 2008; CLAUDE, 2008).

A análise elíptica de Fourier foi realizada usando o pacote Momocs versão 1.2.9 (BONHOMME *et al.*, 2014) na versão RConsole 4.0.2 (R Core Team, 2020) e RStudio versão 1.0.153 (RStudio Team, 2016). O arquivo TPS global foi importado e os dois primeiros pontos de referência de cada contorno foram separados em um sub-objeto "\$ldk" do arquivo "Out". Um arquivo separado de fatores que especificam os diferentes modelos a serem analisados foi importado para o arquivo "Out" como sub-objeto "fac". Os contornos foram alinhados e normalizados nos dois primeiros pontos de referência usando a função "coo\_bookstein", que realiza a normalização de Bookstein (ANDRADE *et al.*, 2008, CLAUDE 2008). A função "calibrate\_harmonicpower" foi usada para calcular o número

mínimo de harmônicos necessários para capturar 99% da variação total. A análise elíptica de Fourier foi realizada utilizando a função "efourier" com os argumentos "norm = FALSE" e "start = TRUE". Uma análise de componentes principais foi então realizada na matriz resultante dos coeficientes elípticos de Fourier usando a função "ACP". As pontuações do CP foram obtidas a partir do sub-bjeto "\$x" do objeto que resultou da computação usando "ACP". Gráficos ilustrando a faixa de variação das variáveis de forma do componente principal (CPs) e ordenações dos CPs foram obtidos usando as funções "PCcontrib" e "plot", respectivamente.

Análises posteriores foram realizadas usando um quadro de dados combinando os fatores e as pontuações dos dez primeiros CPs resultantes da análise elíptica de Fourier. Oito modelos de análise, consistindo de 12 comparações (Tab. 3), foram estabelecidos e submetidos a testes. Para cada modelo, os seis primeiros CPs foram plotados e testados (funções R fornecidas entre aspas) para normalidade ("shapiro.test"), homogeneidade de variações (paramétrico: "bartlett.test"; não-paramétrico: "fligner.test"), igualdade de médias (paramétrica: "aov") e igualdade de medianas ("kruskal.test").

Gráficos da diferenciação de categorias de cada modelo foram obtidos plotando as duas principais variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 como ordenações em Momocs. A comparação visual da variação da forma da folha para cada modelo foi obtida pelo cálculo dos quantis de 10%, 50% (mediana) e 90% de cada categoria de indivíduos no espaço 2D do CP1 vs. CP3 e, em seguida, localizando os indivíduos mais próximos desses nove pontos e traçando seus contornos usando a função "ggplot" (pacote R ggplot2, Wickham 2016). A apresentação gráfica resultante consistiu em uma comparação de faixa de forma dentro de cada categoria de modelo com a forma mediana no centro e as oito formas circundantes mostrando as formas quartil de 10% e 90% das variáveis CP1 e CP3.

A estimativa quantitativa da consistência (distinção) de cada categoria dos diferentes modelos foi obtida pela análise k-nearest-neighbor (KNN), um método de classificação não paramétrico (VARMUZA; FILZMOSER, 2009; JAMES *et al.*, 2013). Nesta abordagem, a posição de cada indivíduo dentro do espaço geral da forma foi definida por suas variáveis de forma, isto é, os valores dos dez CPs considerados. Os vizinhos mais próximos de cada indivíduo foram determinados pelo cálculo da distância euclidiana e o indivíduo foi designado para a classe à qual a maioria de seus vizinhos pertencia. O número de vizinhos a serem considerados ( $k$ , the neighbourhood) foi determinado em cada modelo testando uma faixa de valores de  $k$  ( $k = 1$  a  $k = 40$ ) usando validação cruzada e selecionando o número  $k$  que resultou no menor número de atribuições incorretas. O número  $k$  selecionado foi então usado para classificar os indivíduos em cada categoria dos modelos usando a validação

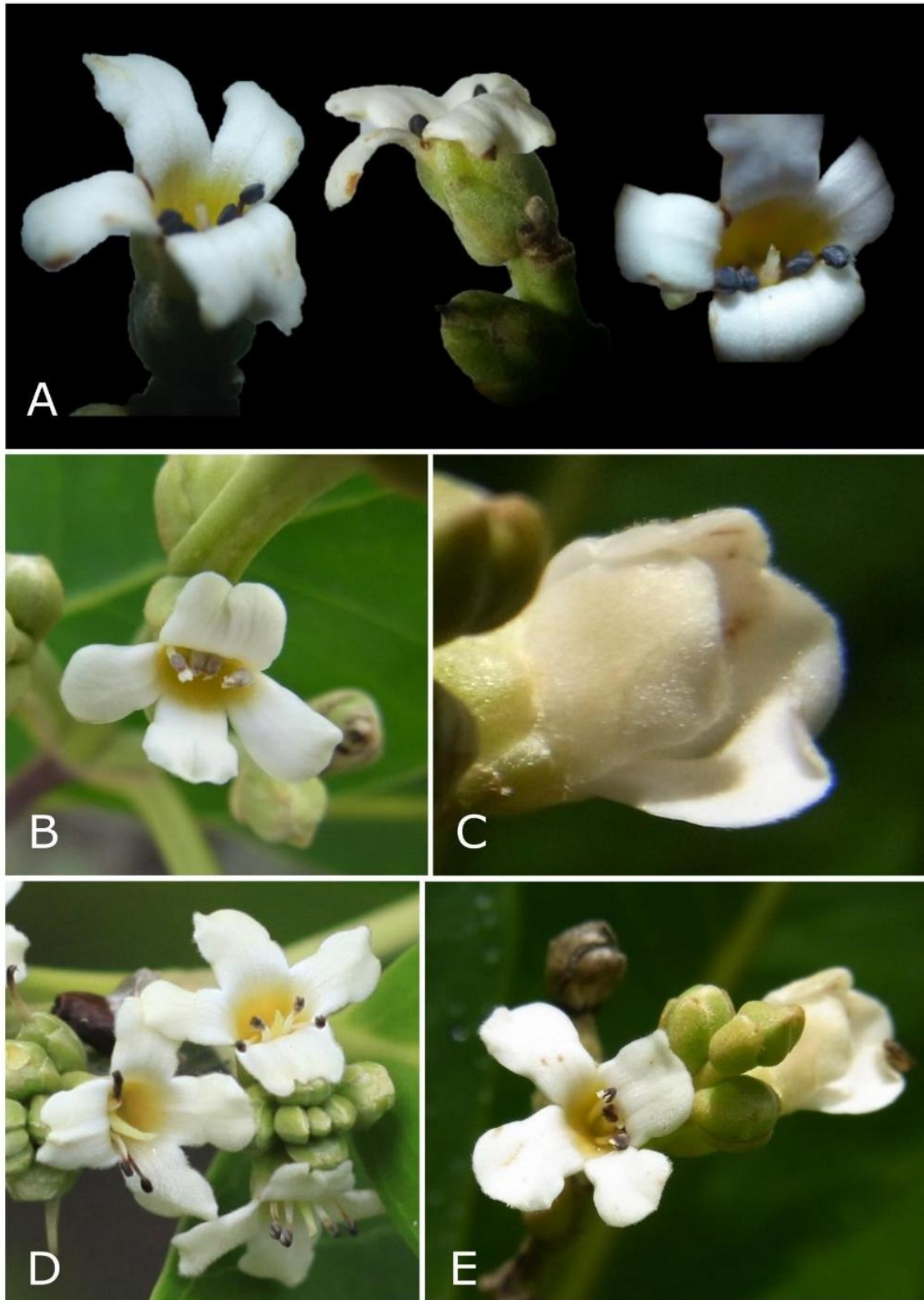
cruzada de exclusão única. O percentual de atribuição correta mostrou a consistência de cada categoria analisada. A análise KNN foi realizada usando a função "knn.cv" na classe de pacotes R (RIPLEY; VENABLES, 2020).

## RESULTADOS

### **Determinação da presença de duas espécies de *Avicennia* nas áreas de manguezais amostrados**

Em *Avicennia*, Tomlinson (1986: 198-199) distinguiu *A. germinans* pela presença de pubescência na superfície interna da corola, uma corola desigualmente zigomórfica e os estames exsertos e levemente desiguais, enquanto em *A. schaueriana* a corola é glabra na superfície interna, a corola é apenas levemente zigomórfica e os estames são incluídos e têm comprimento igual. Com base em nossas observações, concluímos que o caráter distintivo mais claro era a presença ou ausência de pubescência na superfície interna da corola; os outros caracteres florais variavam suficientemente para não serem totalmente confiáveis (Fig. 4).

Figura 4 - Detalhe da estrutura das flores das espécies tratadas neste estudo. Detalhes da morfologia floral em *Avicennia schaueriana* e *A. germinans*. A - B: Flores abertas de *A. schaueriana* mostrando corola de superfície glabra internamente e projetando discretamente os estames. C: Flor aberta de *A. germinans* mostrando pubescência da superfície interna. D - E: Flores abertas de *A. germinans* mostrando projeção mais conspícua de estiletes e estames.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)



Constatou-se com a identificação científica das amostras de *Avicennia* nas quatro áreas que apenas uma forma vernacular (siriba branca), correspondente a *A. schaueriana*, ocorreu na área regenerada de Água Doce (Água Doce Norte/Ilhazinha). Verificou-se, também, que as duas formas vernaculares identificadas pelo informante local na área regenerada de Araiozes (Ilha das Barreiras) pertencem a *A. germinans*. Assim, observamos apenas uma espécie em cada área regenerada, mas estas foram diferentes nas duas áreas. Os dois informantes também aplicaram os nomes vernaculares em sentidos opostos às espécies científicas nas áreas conservadas (Tabela 2); na área conservada de Araiozes (Ilha dos Poldros), o informante local se referiu a *A. germinans* como siriba branca e *A. schaueriana* como siriba preta, enquanto na área conservada de Água Doce (Mangueirão) *A. germinans* foi referida como siriba preta e *A. schaueriana* como siriba branca.

Tabela 2 - Populações de *Avicennia* L. utilizadas para este estudo, APA, Maranhão, Brasil.

Espécies	Nome popular	Status Pertubação Humana	Município	Localidade	Referência das imagens	Vouchers dos espécimes
<i>schaueriana</i>	<i>siriba branca</i>	Regenerado	Água Doce	Ilhazinha-Salina	SB_754 - 783	M.G.P. Nascimento 754-783
<i>schaueriana</i>	<i>siriba branca</i>	Conservado	Água Doce	Mangueirão	SB_968 - SB_997	M.G.P. Nascimento 968-997
<i>germinans</i>	<i>siriba preta</i>	Conservado	Água Doce	Mangueirão	SP_1059 - SP_1088	M.G.P. Nascimento 1059-1088
<i>germinans</i>	<i>siriba branca</i>	Regenerado	Araiozes	Ilha das Barreiras	SB_784 - SB_813	M.G.P. Nascimento 784-813
<i>germinans</i>	<i>siriba preta</i>	Regenerado	Araiozes	Ilha das Barreiras	SP_814 - SP_843	M.G.P. Nascimento 814-843
<i>schaueriana</i>	<i>siriba preta</i>	Conservado	Araiozes	Ilha dos Poldros	SP_878 - SP_907	M.G.P. Nascimento 878-907
<i>germinans</i>	<i>siriba branca</i>	Conservado	Araiozes	Ilha dos Poldros	SB_1029 - SB_1058 (SB_1046 não utilizados)	M.G.P. Nascimento 1029-1058

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os resultados da identificação do material coletado possibilitaram realizar as comparações mostradas na Tabela 3, apresentadas como uma série de modelos analíticos.

Tabela 3 - Modelos analíticos utilizados para comparar as formas das folhas dos indivíduos mostrados de *Avicennia*.

Modelo	Descrição	Subconjunto de indivíduos	Comparação	Variável categórica (grupo)
Modelo 1	Comparação as duas espécies com todos os indivíduos juntos	Todos indivíduos	Entre <i>A. germinans</i> and <i>A. schaueriana</i>	Espécies científicas
Modelo 2A	Comparação as duas espécies nas áreas conservadas de cada município	Todos os indivíduos de Água Doce, área conservada	Entre <i>A. germinans</i> and <i>A. schaueriana</i>	Espécies científicas
Modelo 2B		Todos indivíduos de Araioses, área conservada	Entre <i>A. germinans</i> and <i>A. schaueriana</i>	Espécies científicas
Modelo 3A	Comparação áreas conservadas e regeneradas em <i>A. schaueriana</i>	Todos os indivíduos de <i>A. schaueriana</i> de Água Doce municipality	Dentro <i>A. schaueriana</i>	A. Estado de conservação (conservado/regenerado)
Modelo 3B	Comparação áreas conservadas e regeneradas em <i>A. germinans</i>	Todos os indivíduos de <i>A. germinans</i> no município de Araioses	Dentro de <i>A. germinans</i>	A. Estado de conservação (conservado /regenerado)
Modelo 4A	Comparação áreas conservadas de Água Doce e Araioses em <i>A. schaueriana</i>	Todos os indivíduos de <i>A. schaueriana</i> de áreas conservadas	Dentro <i>A. schaueriana</i>	A. Áreas conservadas de municípios (Água Doce / Araioses)
Modelo 4B	Comparação áreas conservadas de Água Doce e Araioses em <i>A. germinans</i>	todos os indivíduos de <i>A. germinans</i> de áreas conservadas	Dentro <i>A. germinans</i>	A. Áreas conservadas de municípios (Água Doce / Araioses)
Modelo 5A	Comparação formas vernaculares de <i>A. germinans</i> em Araioses	Todos os indivíduos de <i>A. germinans</i> (conservação de piscinas e áreas regeneradas)	Dentro <i>A. germinans</i>	A. Formas vernáculas (siriba branca / siriba preta)
Modelo 5B	Comparação formas vernaculares de <i>A. germinans</i> em Araioses	Apenas indivíduos de <i>A. germinans</i> em área regenerada	Dentro <i>A. germinans</i>	A. Formas vernáculas (siriba branca / siriba preta)
Modelo 6	Comparação os dois municípios	Todos os indivíduos	Entre Municípios (Água Doce e Araioses)	Municípios (Água Doce e Araioses)
Modelo 7	Comparação as áreas conservadas e regeneradas	Todos os indivíduos	Entre áreas conservadas e regeneradas	Estado de conservação (conservado / regenerado)
Modelo 8	Comparação as sete populações definidas	Todos os indivíduos	Entre populações definidas	Populações definidas (ver Tabela 2)

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

### Variáveis de forma foliar obtidas

A análise elíptica de Fourier (EFA) foi realizada usando nove harmônicos (elipses), porque a função Momocs "calibrate\_harmonicpower\_efourier" mostrou em uma etapa preliminar que com nove harmônicos, a variação total de 99% seria capturada. A análise produziu uma matriz de 36 coeficientes para cada uma das 627 folhas. Análise de componentes principais foi então realizada utilizando a matriz de coeficientes. Os componentes principais (CPs) foram então utilizados como variáveis de forma que descrevem quantitativamente os contornos das formas das folhas.

Cada componente principal (CP) representa uma tendência diferente de variação da forma, em ordem decrescente de contribuição para a variação geral da forma da folha representada em todo o conjunto de dados. A Figura 5 e a Tabela 4 mostram que mais de 95% da variação total é expressa pelos três primeiros CPs e mais de 99% nos sete primeiros. As análises que se seguiram usaram apenas as pontuações nos sete primeiros CPs e se concentraram principalmente nos três primeiros.

Tabela 4 - AutoValores de cada variável de forma do componente principal mostrados como proporção da variação total da forma da folha e as relações de simetria das tendências e variação de forma expressas por cada variável.

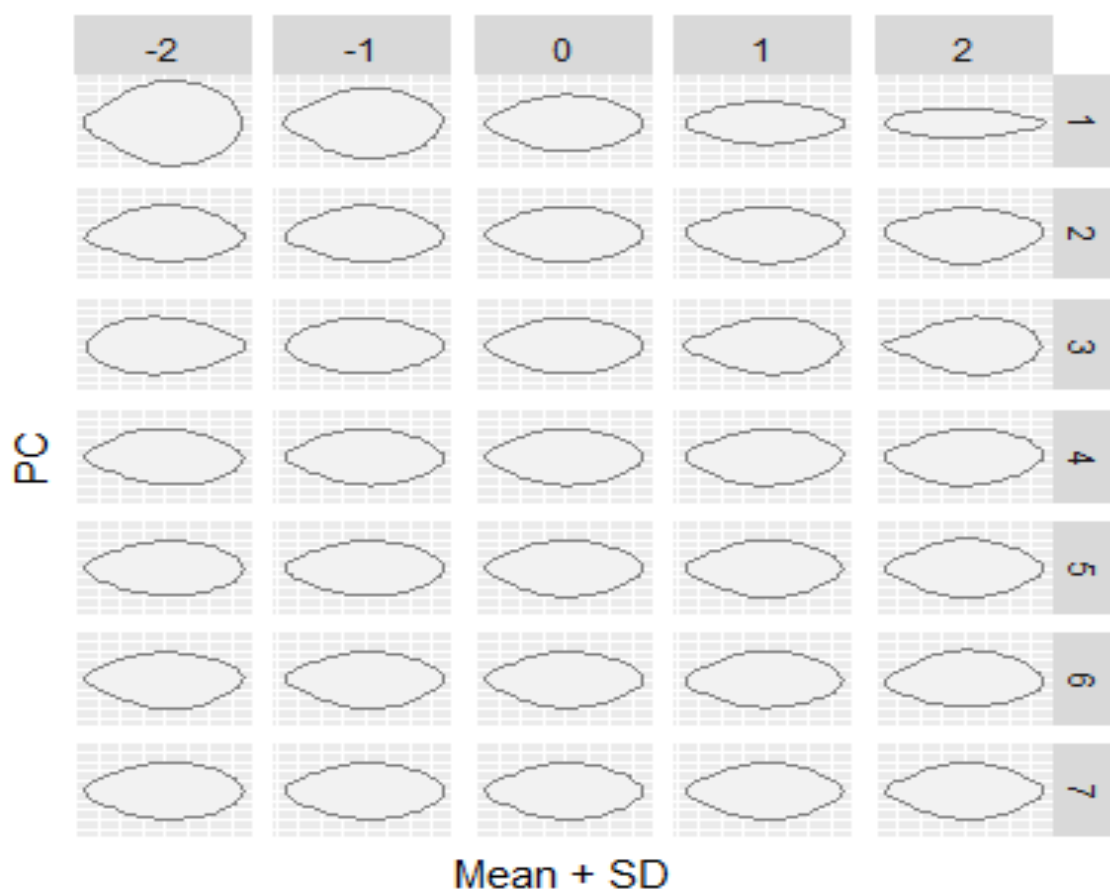
Variável de forma (shape variable)	autovalores (eigenvalue)	autovalor cumulativo (cumulative eigenvalue)	Simetria da variavel de forma (symmetry of shape variable)
PC1	0.79342	0.79342	Simétrico
PC2	0.11377	0.90719	Assimétrico
PC3	0.05186	0.95905	Simétrico
PC4	0.01155	0.97061	Assimétrico
PC5	0.00991	0.98052	Simétrico
PC6	0.00836	0.98887	Assimétrico
PC7	0.00337	0.99225	Simétrico

<sup>1</sup>Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variância, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

As tendências da variação de forma dos sete primeiros PCs são ilustradas na Figura 6. Isso mostra que os CPs com números ímpares expressam variação de forma simétrica, enquanto os PCs com números pares expressam variação assimétrica.

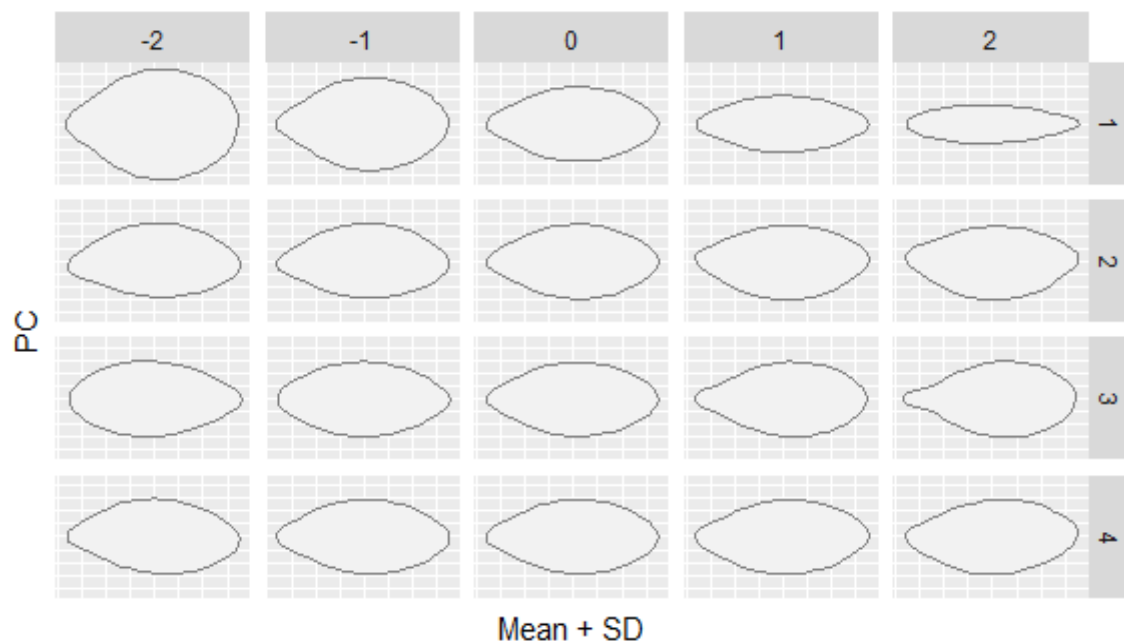
Figura 5 - Tendências das formas dos sete primeiros componentes principais, expressas como a forma média (coluna 0) e as formas correspondentes aos valores de CP em  $\pm 1$  e  $\pm 2$  desvios padrão em cada lado da forma média.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A plotagem dos PCs 1, 2 e 3 (95,9% da variação total) mostra as principais tendências de variabilidade de formas no conjunto de dados como um todo (Fig. 6). No PC1, duas tendências principais de forma são combinadas: as folhas com os valores negativos mais baixos são relativamente amplas e obovadas e com valores crescentes de PC1 tornam-se relativamente estreitas e ovadas. Nos outros PCs, a largura relativa não muda. PC2 consiste em uma alteração na imagem espelhada: a forma média é bilateralmente simétrica, mas com valores cada vez mais negativos, o lado esquerdo se torna relativamente mais amplo, enquanto que com valores positivos, o lado direito se torna mais amplo.

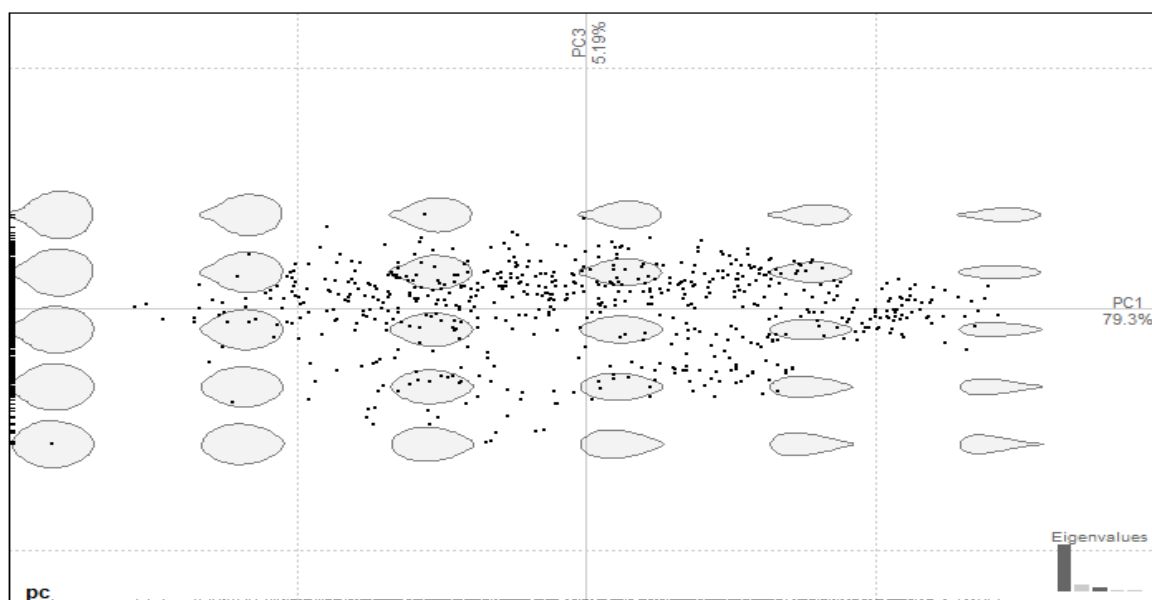
Figura 6 - Tendências de forma dos quatro primeiros componentes principais, expressas como a forma média (coluna 0) e as formas correspondentes aos valores de PC em  $\pm 1$  e  $\pm 2$  desvios padrão em cada lado da forma média. Os PCs 1 e 3 são tendências de variação de forma simétrica e 2 e 4 assimétricos. O ápice da folha fica no lado direito de cada contorno.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

O PC3 (Fig. 7) expressa uma tendência de ovado (valores negativos) para obovada (valores positivos), ou seja, o centro de gravidade (terminologia de Pontes *et al.* 2019) move-se de uma posição mais basal para uma posição mais apical ao longo do eixo principal da folha, acompanhado por uma base foliar cada vez mais atenuada. Os PCs restantes expressam mudanças de forma muito menos distintas (Fig. 2) e representam apenas 4,1% da variação no conjunto de dados.

Figura 7 - Ordenação dos principais componentes 1 e 2. PCA da forma do contorno da folha em 627 indivíduos de *Avicennia*, com base em uma matriz de 36 coeficientes elípticos de Fourier (9 harmônicos).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

### Diferenças entre as duas espécies

Uma comparação geral mostrou nítida diferença estatística na forma das folhas entre as espécies como um todo, mas uma discriminação imperfeita no nível dos indivíduos devido à sua grande variação. A forma das folhas é considerável em cada uma das sete populações definidas (Fig. 2).

No modelo 1 foram comparadas as formas das folhas de todos os indivíduos do estudo, dividindo-os em dois grupos de acordo com as espécies. As diferenças entre espécies mais importantes estão nas variáveis simétricas PC1 e PC3, que foram altamente significativas (Fig. 8, Tab. 5).

Tabela 5 - Modelo 1. Comparação das variáveis de forma foliar entre *Avicennia germinans* (n = 357) e *A. schaueriana* (n = 270); dados agrupados de todos os indivíduos.

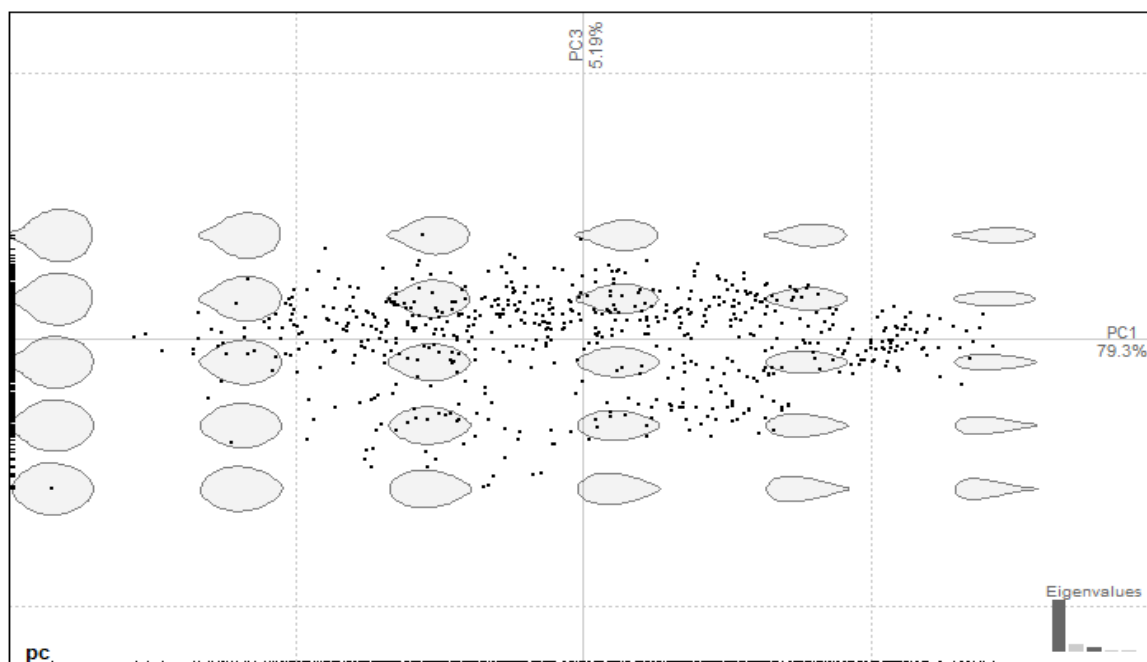
Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria da variável da forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	não	não	p < 2.2e-16 ***
PC2	11.38	Assimétrico	não	sim	p = 0.2572 ns
PC3	5.19	Simétrico	não	sim	p = 9.985e-05 ***
PC4	1.16	Assimétrico	não	sim	p = 0.03302 *
PC5	0.99	Simétrico	não	não	p = 7.018e-10 ***
PC6	0.81	Assimétrico	sim	não	p = 0.07587 ns
PC7	0.34	Simétrico	não	sim	p = 0.0004746 ***

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variancia, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A variável de forma assimétrica PC 2, embora represente 11,38% da variância, não é significativamente diferente nas duas espécies.

Figura 8 - Ordenação dos principais componentes 1 e 2. PCA da forma do contorno da folha em 627 indivíduos de *Avicennia*, com base em uma matriz de 36 coeficientes elípticos de Fourier (9 harmônicos).

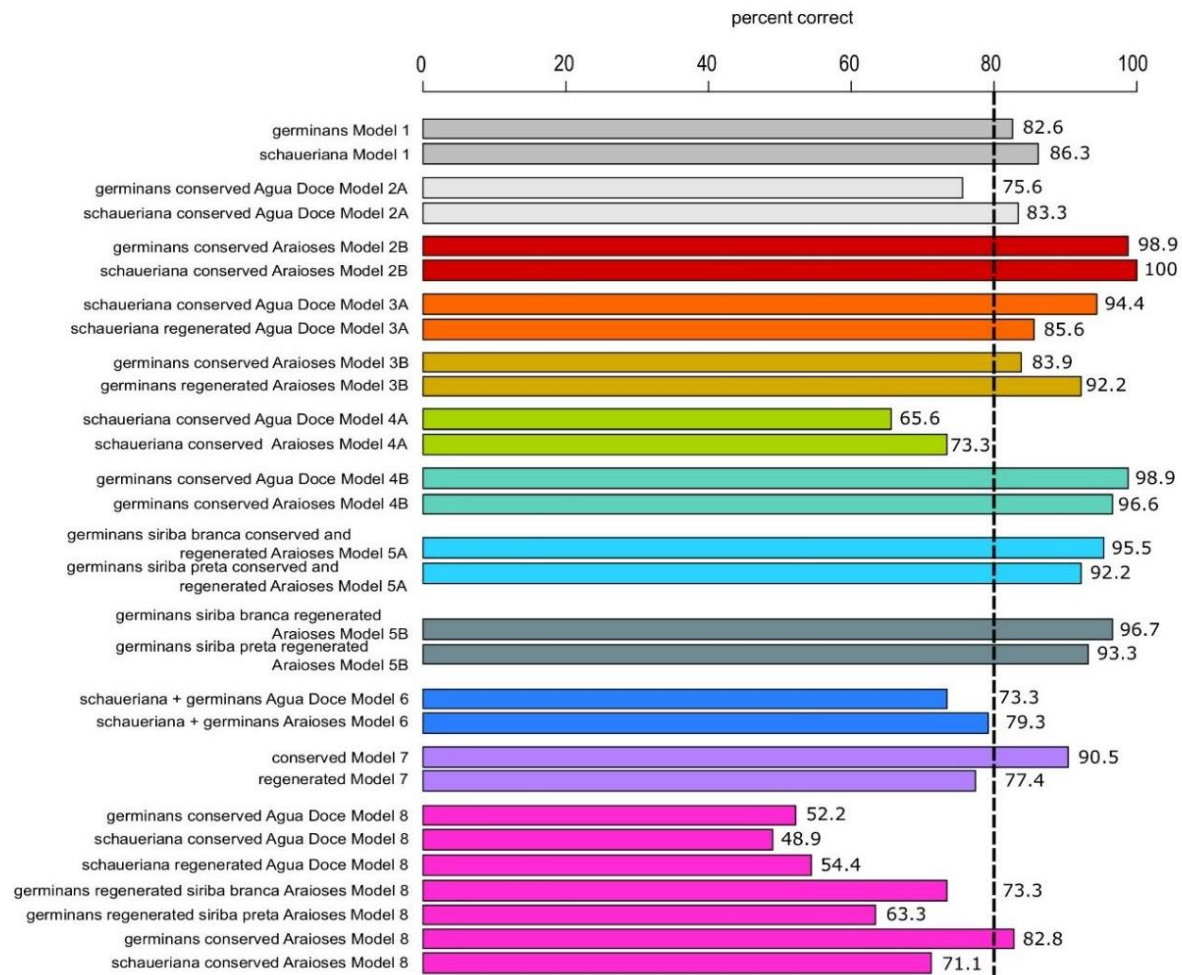


Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Quando os dados são testados usando a análise KNN, 82,6% dos indivíduos de *A. germinans* foram atribuídos corretamente às espécies e 86,3% dos indivíduos de *A. schaueriana* (Figura 9). Uma ordenação mostra alguma separação ao longo do eixo PC1 e sobreposição quase completa no PC3 entre as espécies (Fig. 10). Isso é mostrado em mais detalhes por uma comparação das formas das folhas correspondentes a uma faixa de valores nessas duas variáveis de forma (Fig. 8). A forma mediana de *A. schaueriana* é relativamente mais ampla e possui uma base foliar um tanto atenuada, enquanto que em *A. germinans* é relativamente mais estreita com uma base aguda. No entanto, há óbvia sobreposição nas formas das folhas das duas espécies, especialmente em valores mais baixos de PC1.



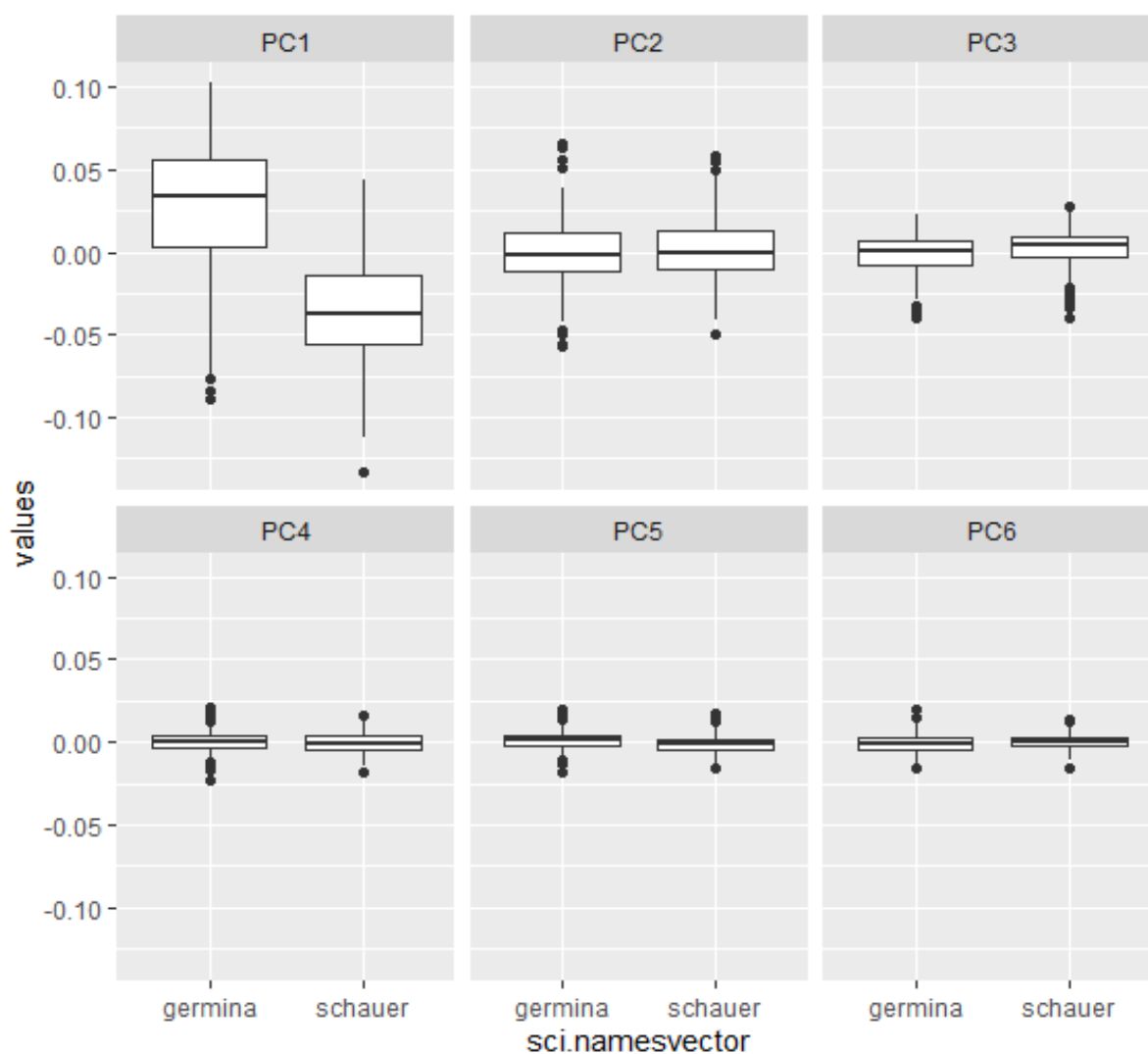
Figura 9 - Análise em KNN para verificação de todas espécies, de acordo com os modelos.



KNN assignments with symmetric variables

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

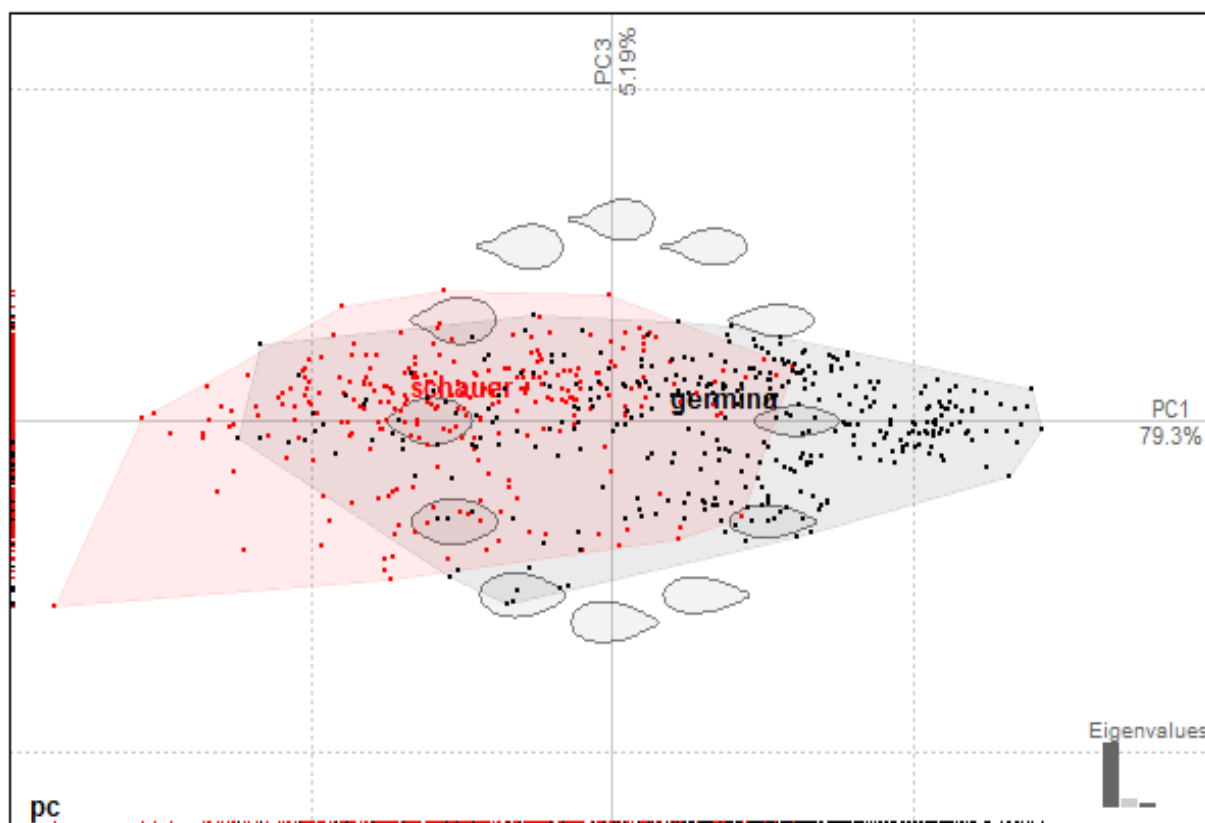
Figura 10 - Modelo 1. Boxplots os valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) entre *Avicennia germinans* (L.) Stearn (n = 357) e *A. schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke (n = 270).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Verifica-se ainda que CP1(79,3%) está relacionado com a forma, variando em ambas, de obovada a elíptica (fig.11).

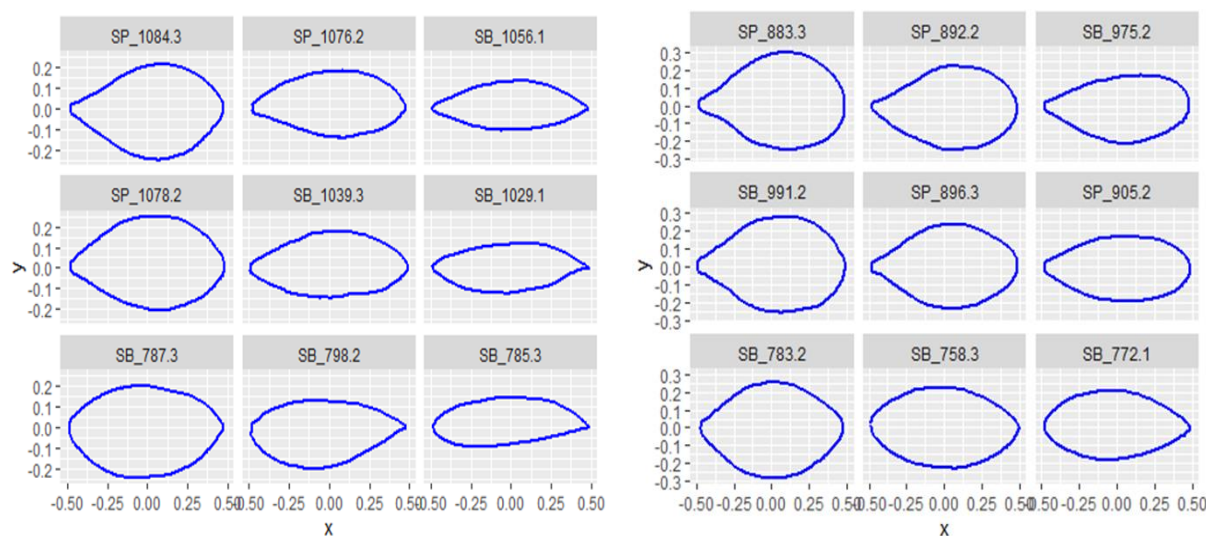
Figura 11 - Ordenação do componente principal das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variância total) em *Avicennia germinans* (germina, n = 357) e *A. schaueriana* (schauer, n = 270).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A variação da forma da folha dentro de cada espécie é mostrada na figura 10 e também na figura 12, um aglomerado de contornos de folhas a partir da parte central da distribuição de cada espécie.

Figura 12 - Variação da forma da folha nas ordenações dos componentes principais das variáveis simétricas da forma CP1 e CP3. O gráfico da esquerda: *A. schaueriana*; trama da direita: *A. germinans*. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos CP dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

No Modelo 2, as duas espécies foram comparadas em áreas conservadas de mangue em dois locais situados a cerca de 30 km um do outro na mesma região delta geral das florestas de manguezal. Em cada uma dessas comparações, a variação devido à geografia e ao grau de perturbação humana pode ser considerada como substancialmente reduzida.

O modelo 2A mostra a diferença entre as espécies na área conservada do município de Água Doce. Como no Modelo 1, a variável PC2 não foi significativamente diferente e as variáveis PC1 e PC3 foram, embora a última muito menos (Tabela 6, Fig. 13).

Tabela 6 - Modelo 2A. Comparação das variáveis de forma foliar entre *Avicennia germinans* (n = 90) e *A. schaueriana* (n = 90). Dados de Mangueirão - área conservada no município de Água Doce.

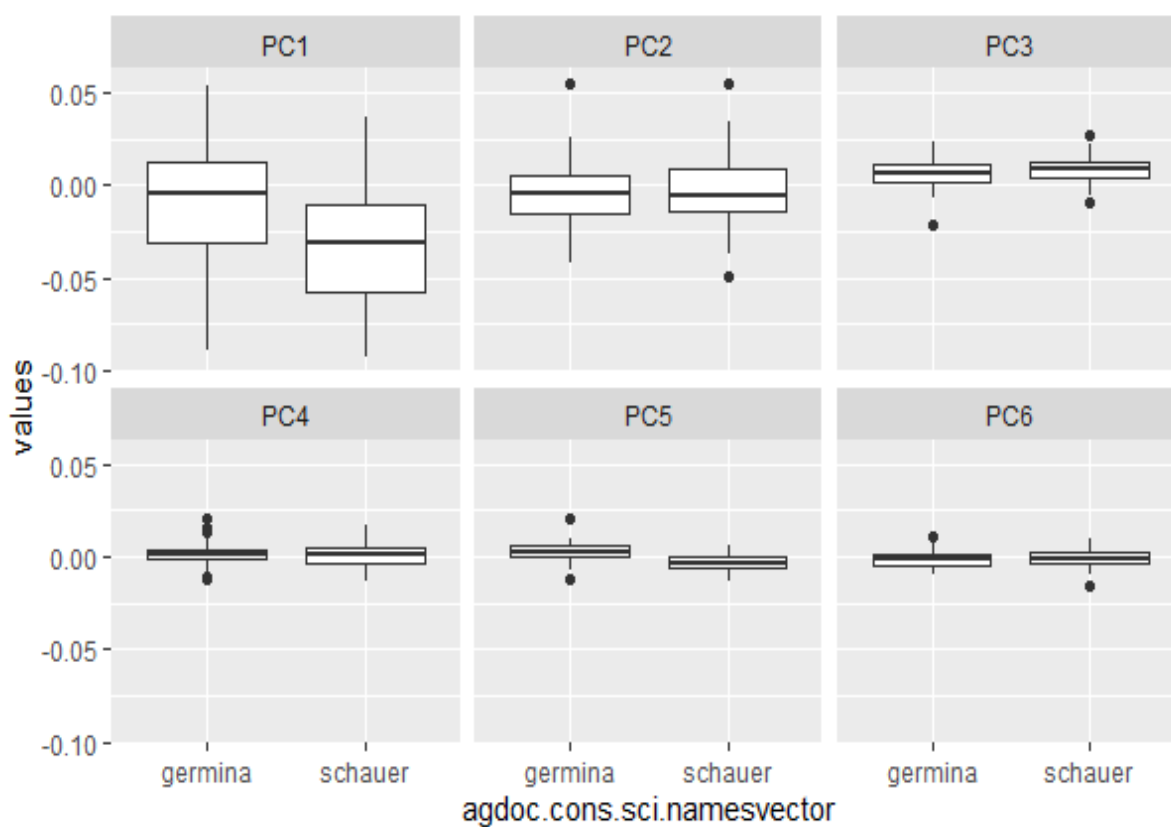
Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria variável forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	não	Sim	p-value = 5.467e-06 ***
PC2	11.38	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.551 ns
PC3	5.19	Simétrico	sim	Sim	p-value = 0.0223 *
PC4	1.16	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.644 ns
PC5	0.99	Simétrico	sim	Sim	p-value < 2e-16 ***
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.404 ns
PC7	0.34	Simétrico	sim	Sim	p-value = 0.00133 **

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variancia, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significativo. \*\*\* p < 0.001.

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

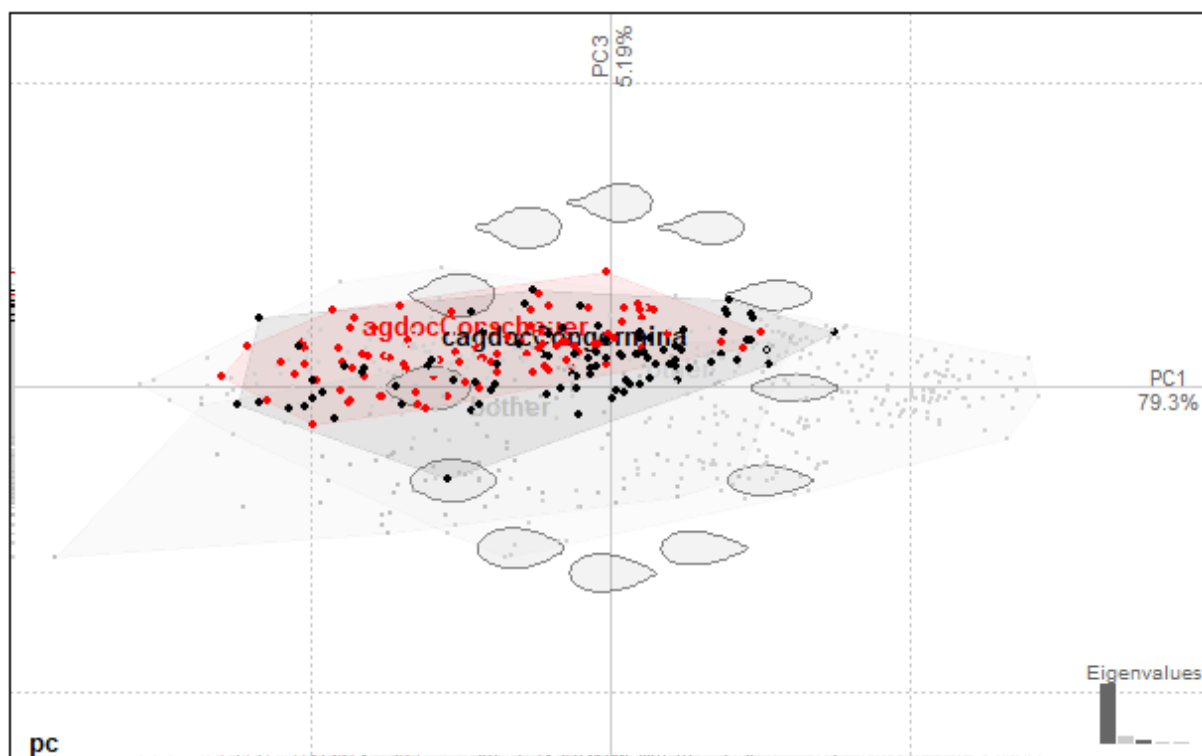
A discriminação pela análise KNN foi menor do que no modelo 1, em que 75,6% dos indivíduos de *A. germinans* e 83,3% de *A. schaueriana* foram atribuídos corretamente (Fig. 09, Tabela 06). A comparação de ordenação e faixa de forma (Figs. 13, 14 e 15) mostrou sobreposição quase completa nos CP1 e CP3.

Figura 13 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) entre *Avicennia germinans* (n = 90) e *A. schaueriana* (n = 90). Dados de Mangueirão - área conservada no município de Água Doce do Maranhão.



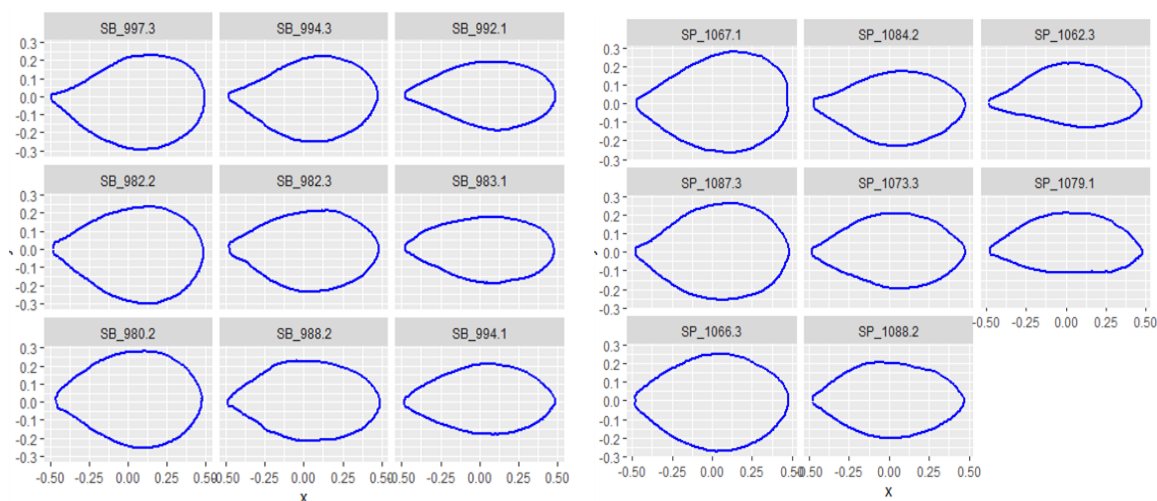
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 14 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variação total) mostrando as distribuições de populações conservadas de *Avicennia germinans* (preto, cagdocCongermina, n = 90) e *A. schaueriana* (vermelho, agdocConschauer, n = 90) plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados. Dados de Mangueirão - área conservada no município de Água Doce. Os indivíduos pertencentes a todas as outras populações definidas são evidenciadas em cinza e rotulados como "incomodam" e "outros".



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 15 - Variação da forma da folha nas ordenações dos componentes principais das variáveis simétricas da forma PC1 e PC3. O gráfico da esquerda: *Avicennia schaueriana*; trama da direita: *A. germinans*. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos PC. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo. Dados de Mangueirão - área conservada no município de Água Doce.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Em contraste, o Modelo 2B na área conservada de Araíoses, diferenças altamente significativas nas variáveis CP1 e CP3 (Tab. 7, Fig. 16, 17). A análise KNN mostrou percentual alto na atribuição correta para *A. germinans* (98,9%) e para *A. schaueriana* (100%) (Tab. 7 Fig. 9).

Tabela 7 - Modelo 2B. Comparação das variáveis de forma foliar entre *Avicennia germinans* (n = 87) e *A. schaueriana* (n = 90). Dados da Ilha dos Poldros - área conservada no município de Araíoses.

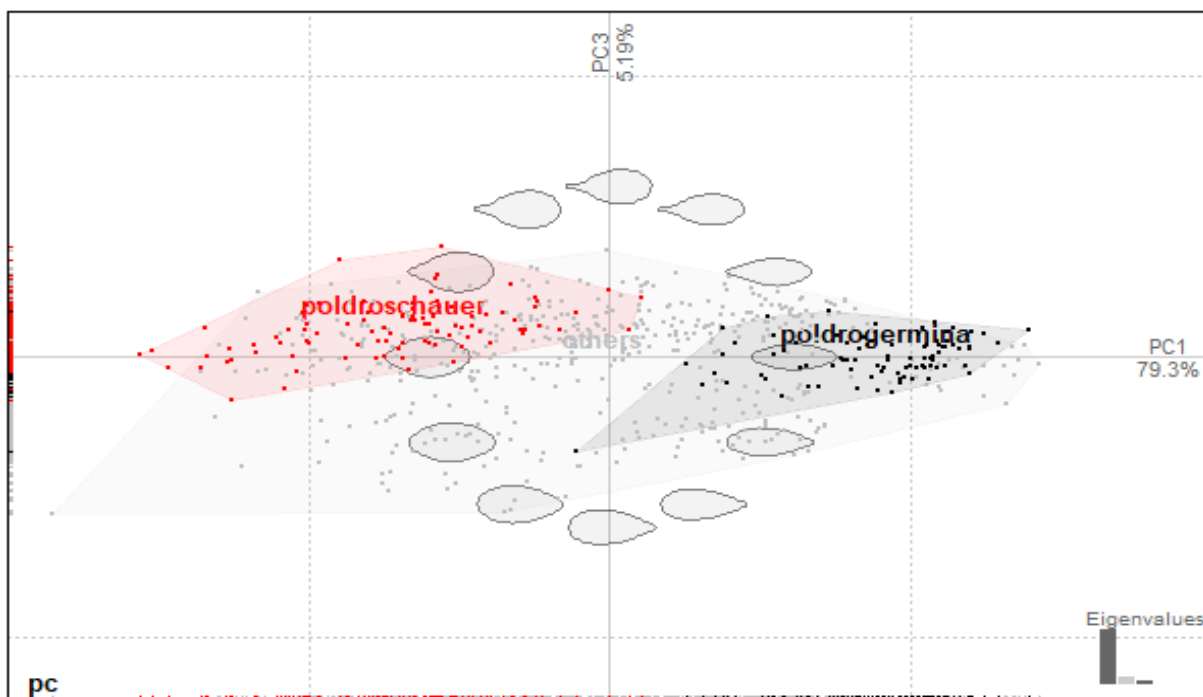
Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria variável forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	não	Não	p-value < 2.2e-16 ***
PC2	11.38	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.289 ns
PC3	5.19	Simétrico	não	Sim	p-value = 8.09e-13 ***
PC4	1.16	Assimétrico	sim	Não	p-value = 0.511 ns
PC5	0.99	Simétrico	sim	Não	p-value = 0.8121 ns
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Não	p-value = 0.3948 ns
PC7	0.34	Simétrico	sim	Sim	p-value = 0.178 ns

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variancia, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

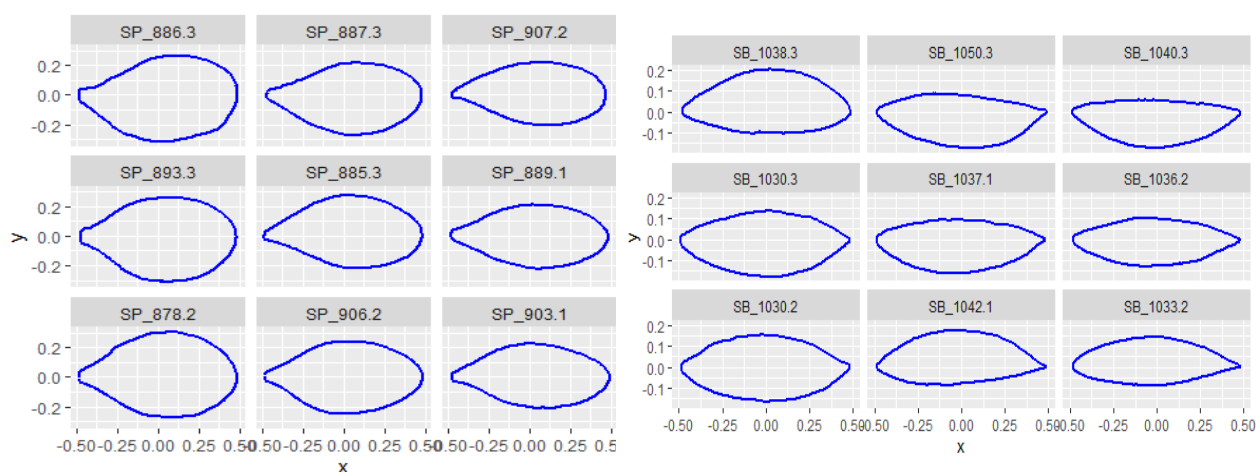
A ordenação por PCA mostrou separação quase completa das duas espécies ao longo do eixo PC1 (Fig. 11) e a comparação da faixa de formas (Fig. 12) confirmaram a clara diferença diagnóstica entre as espécies nesta área sem sobreposição: as folhas de *A. schaueriana* são consistentemente amplamente obovadas com uma base atenuada, enquanto os de *A. germinans* são estreitamente elípticos para ovadas.

Figura 16 - Ordenação do componente principal das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variância total) mostrando as distribuições de *Avicennia germinans* (preto, poldrogermina, n = 87) e *A. schaueriana* (vermelha, poldroschauer, n = 90) plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 17 - Variação da forma da folha nas ordenações dos componentes principais das variáveis simétricas da forma PC1 e PC3. O Gráfico da esquerda: *A. schaueriana*; figura da direita: *A. germinans*. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos PC dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo. Dados da Ilha dos Poldros - área conservada no município de Araioses.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)



#### 4 Diferenças dentro das espécies

As diferenças dentro das espécies foram estudadas de duas maneiras, primeiro, contrastando o grau de perturbação humana e, segundo a localização geográfica.

No Modelo 3, populações da mesma espécie foram comparadas entre áreas conservadas e regeneradas em locais adjacentes no mesmo município.

No modelo 3A comparou-se as populações de *A. schaueriana* no município de Água Doce do Maranhão. A diferença mais expressiva foi mostrada por PC3, com uma diferença pouco significativa em PC1 e uma diferença fortemente significativa em PC2 (Tab. 8, Fig. 18). O teste de discriminação por KNN mostrou 94,4% de sucesso para indivíduos da área conservada, mas apenas 85,6% para os da área regenerada.

Tabela 8 - Modelo 3A. Comparação de variáveis de forma foliar de *Avicennia schaueriana* em áreas conservadas (n = 90) e regeneradas (n = 90) no município de Água Doce do Maranhão.

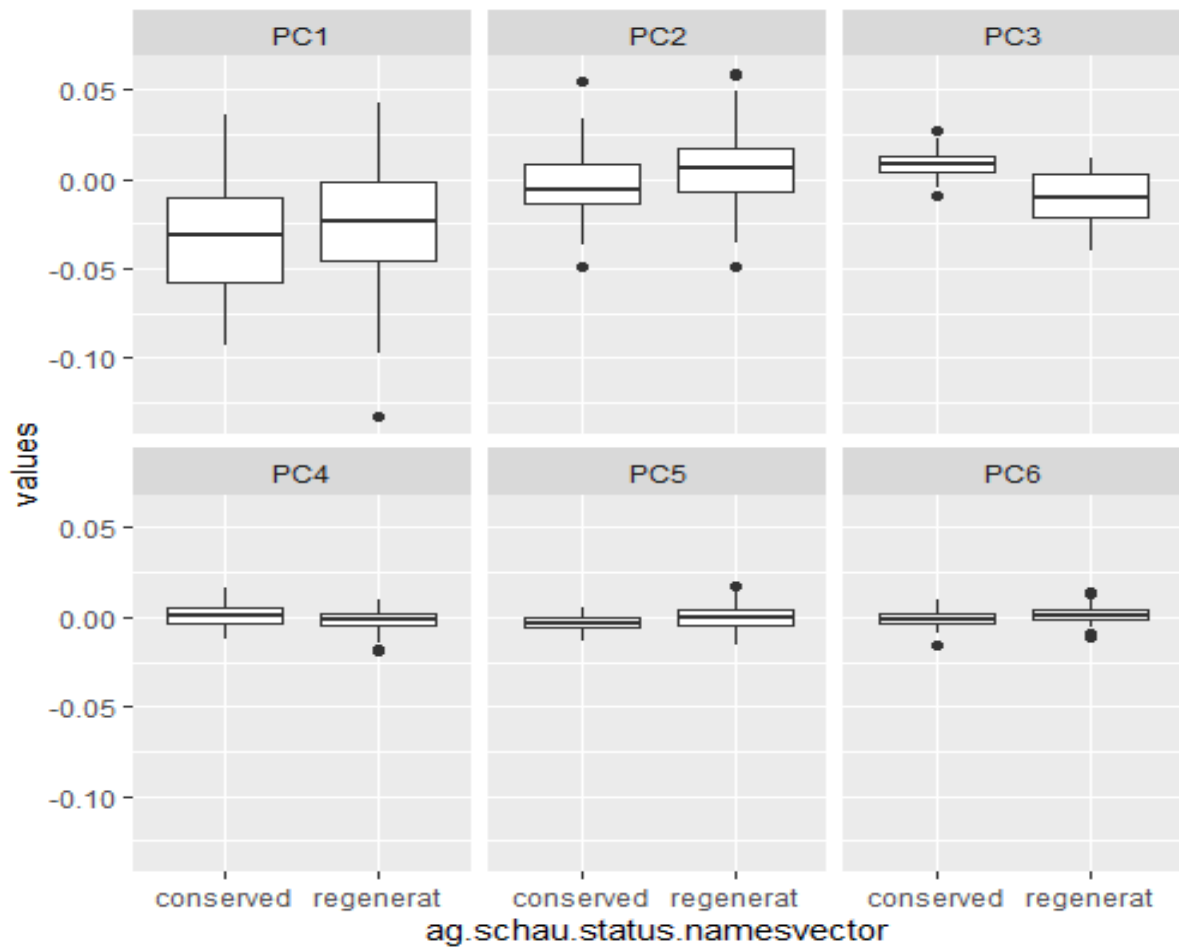
Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria variável forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	não	Sim	p-value = 0.04281 *
PC2	11.38	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.0003888 ***
PC3	5.19	Simétrico	sim	Sim	p-value < 2.2e-16 ***
PC4	1.16	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.006076 **
PC5	0.99	Simétrico	sim	Sim	p-value = 0.00148 **
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.002204 **
PC7	0.34	Simétrico	sim	Sim	p-value = 0.001213 **

<sup>1</sup>Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variância, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

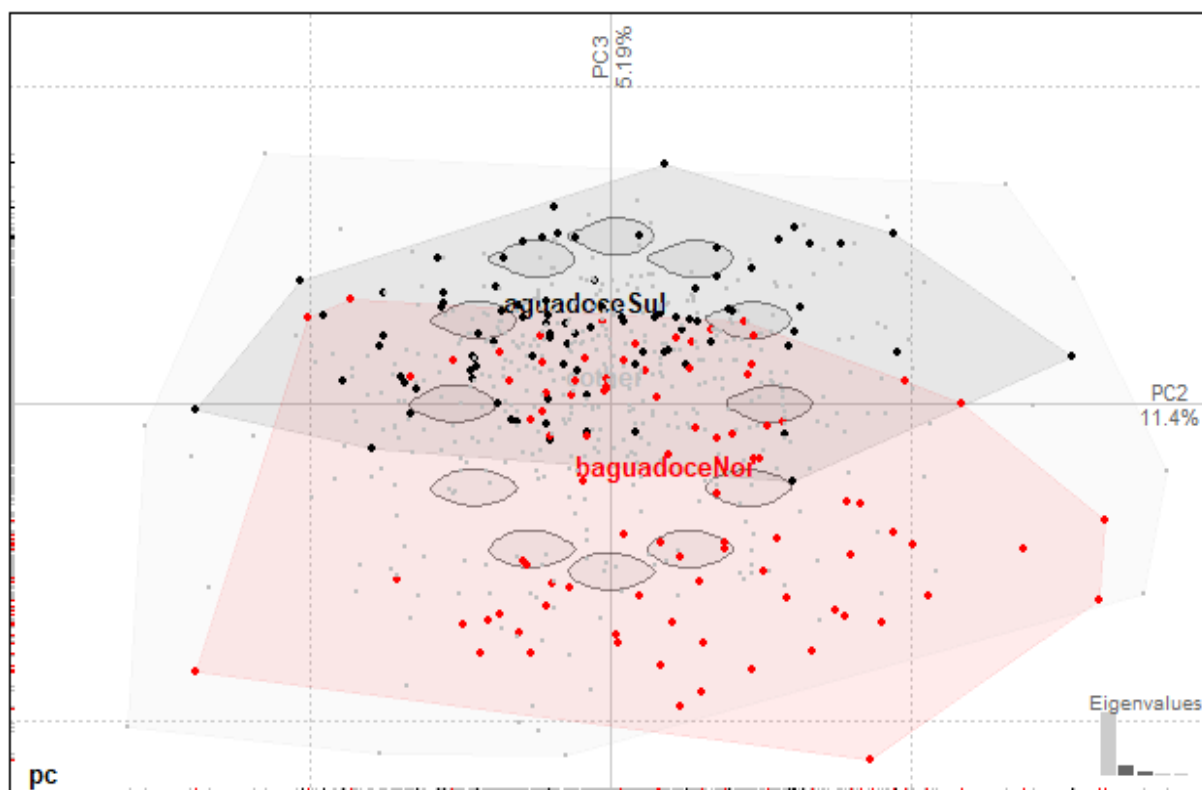
A ordenação PCA mostra um grau considerável de separação ao longo do eixo PC3 (Fig. 18), e a comparação da faixa de formas mostra que os indivíduos da área conservada são consistentemente obovadas, enquanto os da área regenerada tendem a ser elípticos para ovado e em geral mostra uma gama mais ampla de variações (Fig. 19).

Figura 18 - *Boxplots* mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em *Avicennia schaueriana* entre áreas conservadas (n = 90) e regeneradas (n = 90) no município de Água Doce do Maranhão.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

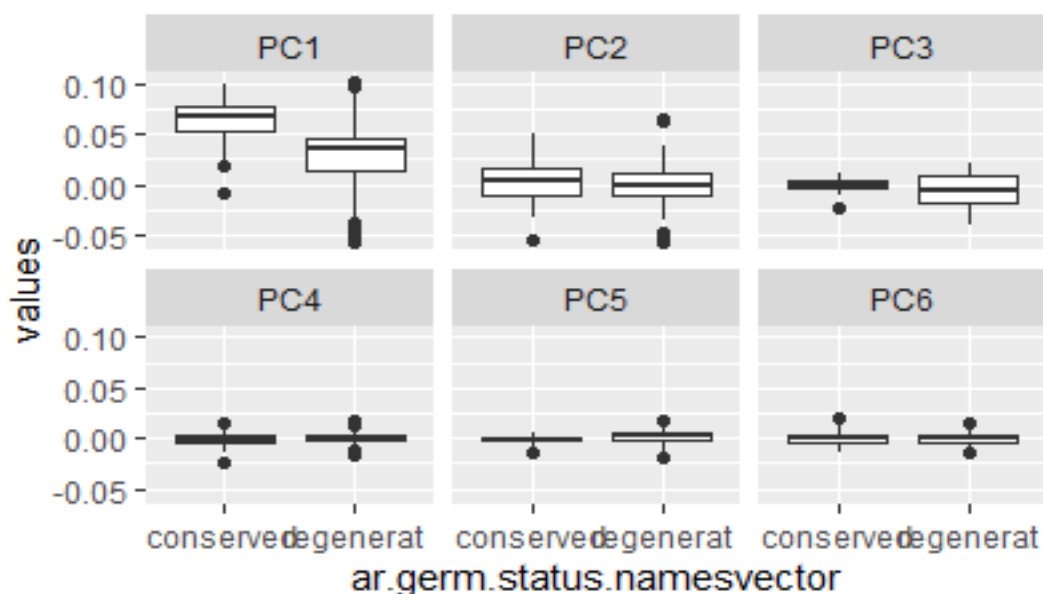
Figura 19 - Ordenação do componente principal de variáveis de forma de *Avicennia schaueriana* em áreas conservadas (em preta, aguadocSul, n = 90) e regenerada (em vermelha, aguadocNor, n = 90) no município de Água Doce. Figura superior: ordenação das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (totalizando 84,53% da variância total). Figura inferior: ordenação das variáveis de forma assimétricas de CP2 e CP3 simétricas (totalizando 16,59% da variância total). Indivíduos pertencentes a todas as outras populações definidas são mostradas em cinza e rotulados como "outros".



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Comparando as populações de áreas conservadas e regeneradas de *A. germinans* com as ocorrentes no município de Araioses (Modelo 3B), a diferença foi significativa, evidenciada no CP1 (Tab. 9, Fig. 20). O teste KNN mostrou atribuição de 83,9% de atribuição correta para indivíduos da área conservada e maior atribuição correta para aqueles da área regenerada, representado por (92,2%), apesar do último grupo ter o dobro do tamanho da amostra (n = 180 vs n = 90).

Figura 20 - *Boxplots* mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros PCs) em *Avicennia germinans* entre áreas conservadas (n = 87) e regeneradas (n = 180) no município de Araisos.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A ordenação PCA (Fig. 21) mostra que a população regenerada tem uma variação muito maior nos eixos PC1 e PC3 (Fig. 22), o que é confirmado pela comparação da faixa de formas.

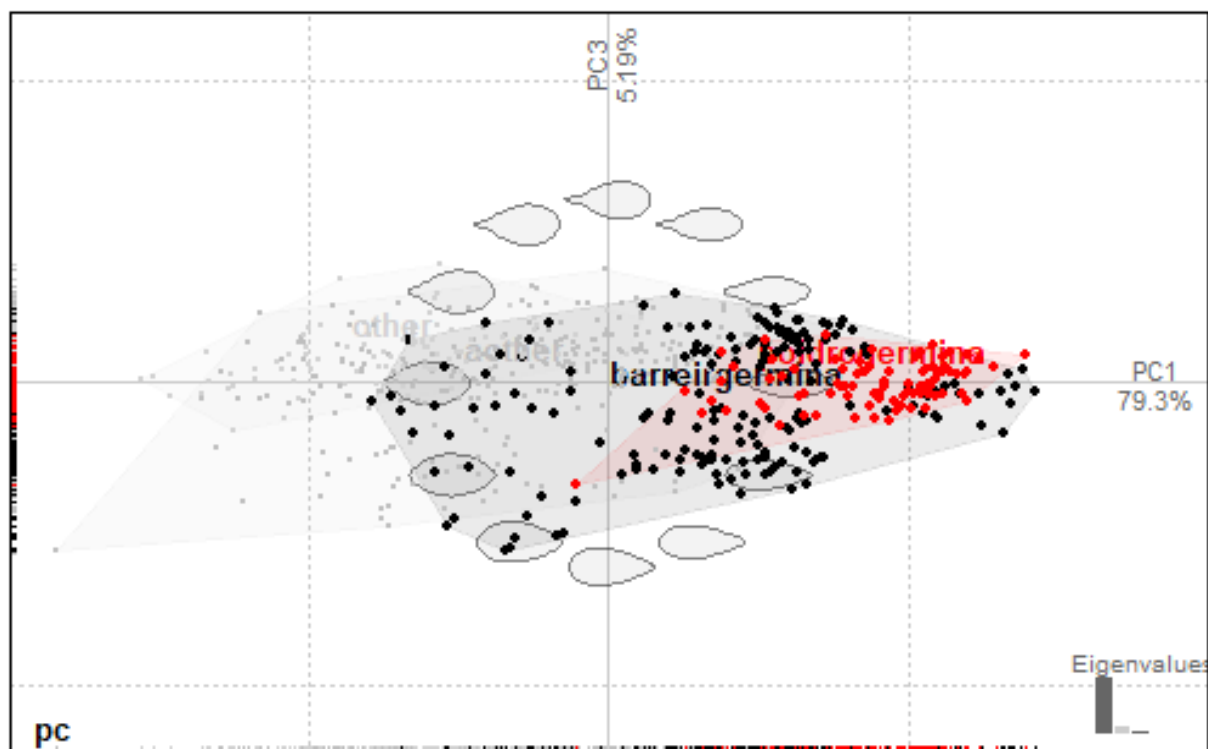
Tabela 9 - Modelo 3B. Comparação de variáveis de forma foliar de *Avicennia germinans* em áreas conservadas (n = 87) e regeneradas (n = 180) no município de Araisos.

Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria variável forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	não	Não	p-value = < 2.2e-16 ***
PC2	11.38	Assimétrico	borderline	Sim	p-value = ns
PC3	5.19	Simétrico	não	Não	p-value = 0.01299 *
PC4	1.16	Assimétrico	não	Não	p-value = ns
PC5	0.99	Simétrico	não	Não	p-value = 3.21e-05 ***
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Não	p-value = ns
PC7	0.34	Simétrico	não	Sim	p-value = 2.14e-06 ***

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variância, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

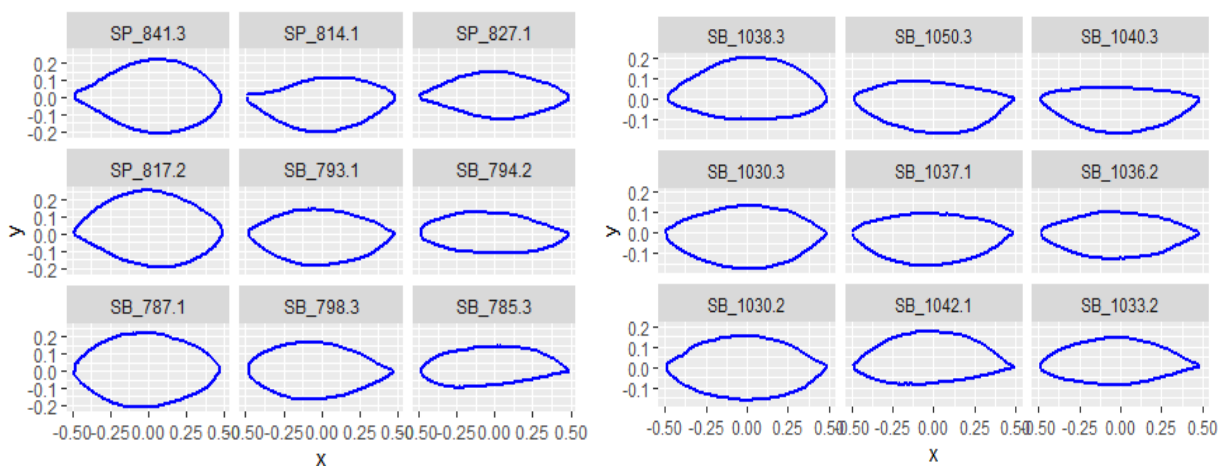
Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Figura 21 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variância total) de *Avicennia germinans* em Araíoses, mostrando as distribuições de áreas conservadas (vermelha, poldrogermina, n = 87) e regeneradas (preta, barreirgermina, n = 180) plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 22 - Variação da forma foliar de *Avicennia germinans* em duas áreas de manguezal no município de Araioses. Das ordenações de componentes principais das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3. Gráfico à esquerda: área regenerada; mostra em lado direito: área conservada. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha próxima da mediana da articulação dos dois eixos PC dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

No Modelo 4 o enfoque foi dado as diferenças dentro da mesma espécie que poderiam estar relacionadas à geografia. *Avicennia schaueriana* (Modelo 4A) mostrou fraca diferenciação entre as populações de áreas conservadas nos dois municípios Água Doce e Araioses. A variável PC1 foi significativamente diferente nas duas populações (Tabela 10, Fig. 23), mas as atribuições corretas por KNN foram baixas, apenas 65,6% em *A. germinans* e 73,3% em *A. schaueriana*. Nem a ordenação PCA de PC1 e PC3 (Fig. 9) nem a comparação da faixa de formas (Fig. 24) mostraram distinções discerníveis.

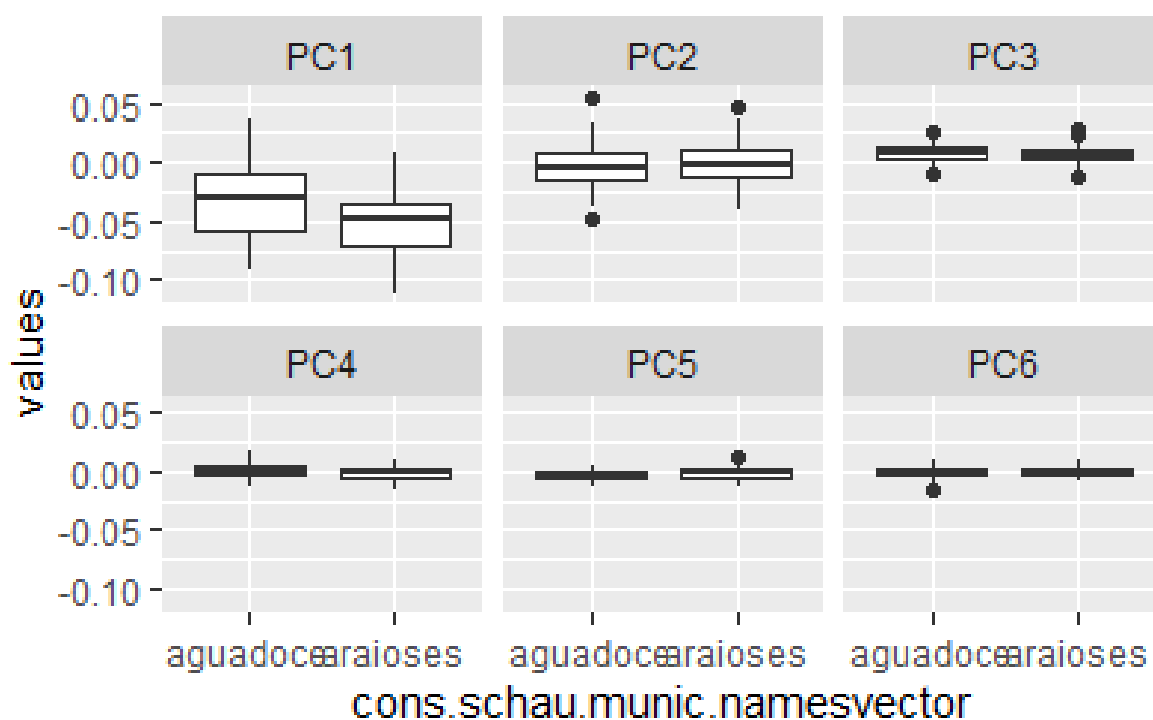
Tabela 10 - Modelo 4A. Comparação das variáveis de forma da folha de *Avicennia schaueriana* em áreas conservadas nos municípios de Água Doce (n = 90) e Araioses (n = 90).

Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria da variável forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	sim	Sim	p-value = 5.54e-06 ***
PC2	11.38	Assimétrico	sim	Sim	p-value = ns
PC3	5.19	Simétrico	sim	Sim	p-value = ns
PC4	1.16	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.0055 **
PC5	0.99	Simétrico	sim	Sim	p-value = 0.000463 ***
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Sim	p-value = ns
PC7	0.34	Simétrico	sim	Sim	p-value = 0.00597 **

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variancia, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

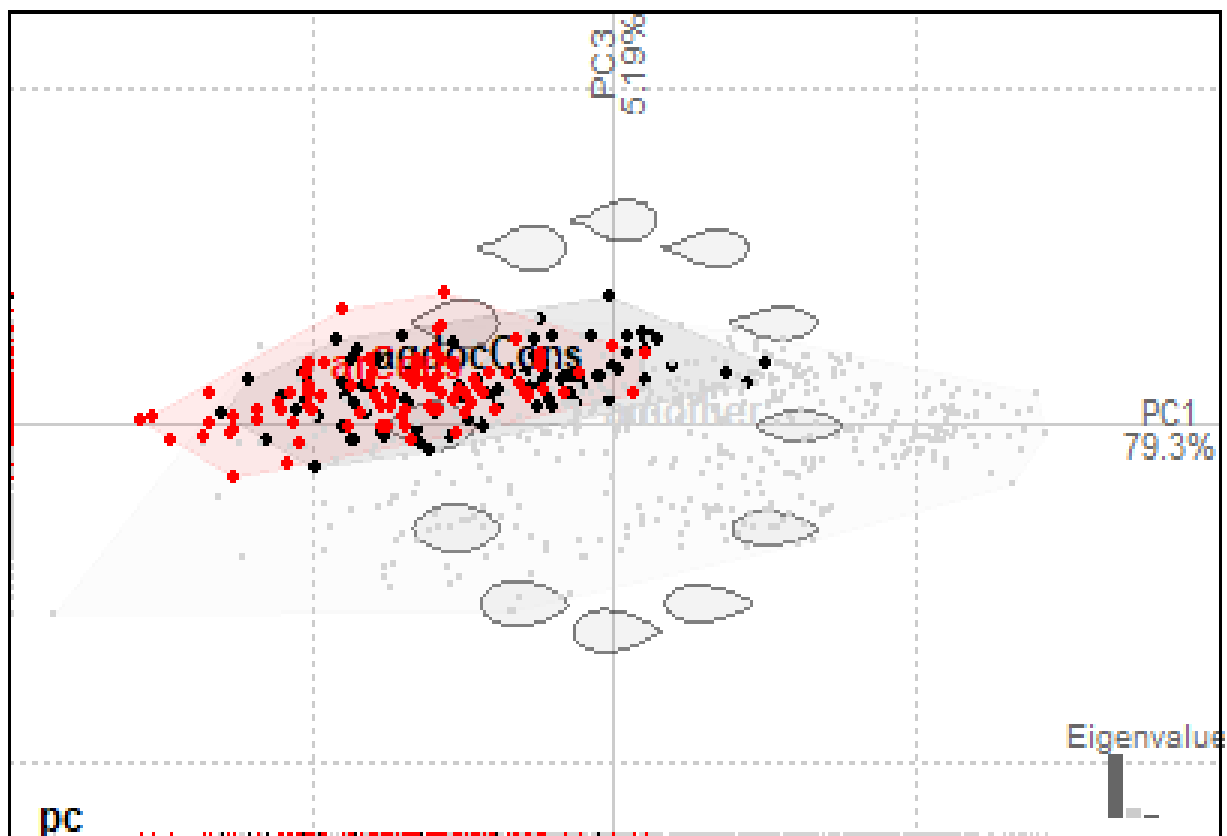
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 23 - *Boxplots* mostrando diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em *Avicennia schaueriana* entre as áreas conservadas nos municípios de Água Doce (n = 90) e Araioses (n = 90).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 24 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variância total) de *Avicennia schaueriana*, comparando indivíduos de áreas conservadas em Água Doce (em preto, n = 90) e Araiões (em vermelho, n = 90) municípios, plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados.

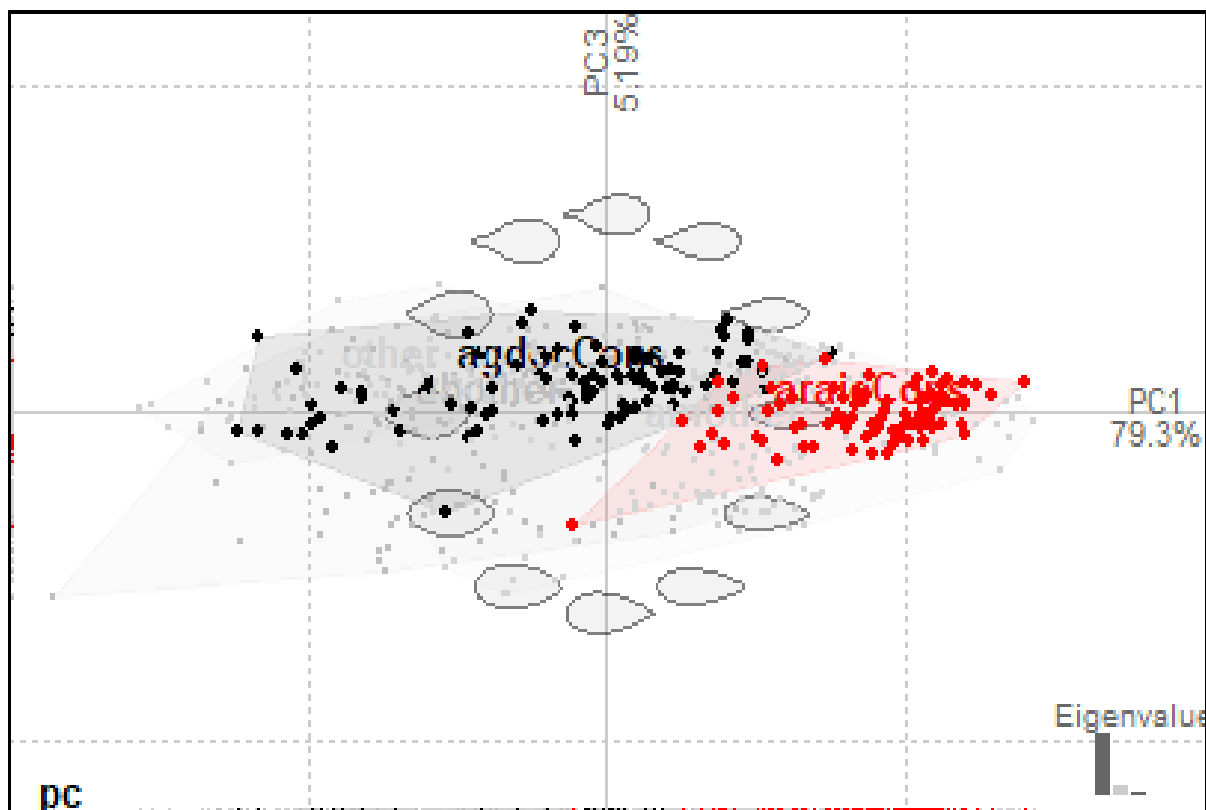


Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Por meio da mesma comparação, observa-se que *A. germinans* (Modelo 4B) mostrou que os CP1, CP2 e CP3 apresentam diferenças altamente significativas - maiores nas variáveis simétricas (Tabela 11, Fig. 9) e altos níveis de atribuição corretas no KNN (98,9% em *A. germinans* e 96,6% em *A. schaueriana*). A ordenação (Fig. 25) e a comparação do intervalo de formas (Fig. 26) mostraram superposição muito pequena das duas populações. Os do município de Araiões eram em grande parte elípticos para ovadas, enquanto os em Água Doce eram elípticos.



Figura 25 - Ordenação dos principais componentes das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variação total) de *Avicennia germinans* comparando plantas de áreas conservadas nos municípios de Água Doce (em preto, n = 90) e Araiões (em vermelho, n = 87), plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

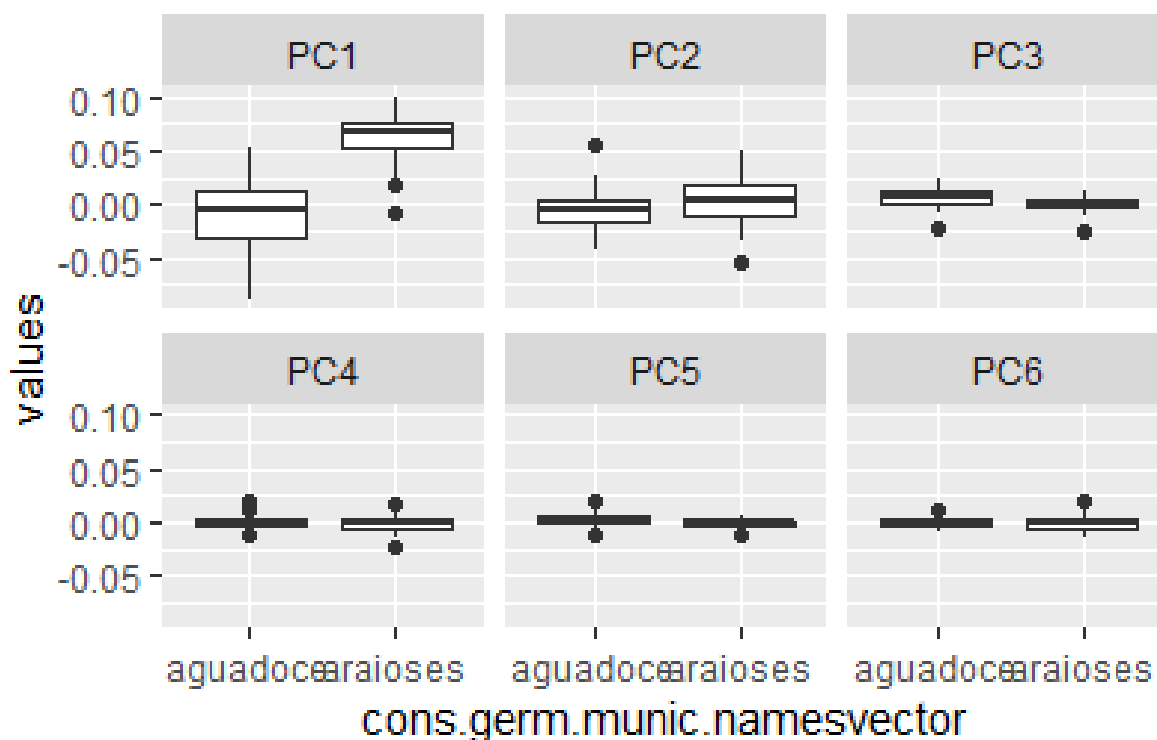
Tabela 11 - Modelo 4B. Comparação das variáveis de forma foliar de *Avicennia germinans* em áreas conservadas nos municípios de Água Doce (n = 90) e Araiões (n = 87).

Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria da variável de forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	não	Não	p-value = 2.2e-16 ***
PC2	11.38	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.00897 **
PC3	5.19	Simétrico	não	Não	p-value = 1.862e-09 ***
PC4	1.16	Assimétrico	sim	Sim	p-value = 0.0145 *
PC5	0.99	Simétrico	não	Não	p-value = 9.655e-10 ***
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Não	p-value = ns
PC7	0.34	Simétrico	sim	Sim	p-value = 1.64e-12 **

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variancia, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 26 - *Boxplots* mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em *Avicennia germinans* entre as áreas conservadas nos municípios de Água Doce do Maranhão (n = 90) e Araiões (n = 87).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

As duas espécies parecem exibir diferentes padrões de variação em relação à geografia e ações humanas. Em *A. schaueriana* há pouca diferença entre as populações conservadas de Água Doce e Araiões, tanto em suas medianas quanto em seu intervalo de variação, enquanto há diferença mediana bastante bem marcada entre as populações conservadas e regeneradas em Água Doce, na variável de forma CP3; a população regenerada também tem uma gama mais ampla de variação ao longo do eixo CP3, mas não acentuada. Por outro lado, em *A. germinans* as diferenças são devidas principalmente à variável CP1, a diferença nas populações geográficas é mais forte, embora seus intervalos de variação não sejam muito diferentes. Na comparação de populações conservadas e regeneradas de *A. germinans*, há uma diferença maior na faixa de variação.

#### **As formas vernaculares: diferenciação dentro das espécies em *A. germinans***

No município de Araiões, duas formas vernaculares de *A. germinans* foram reconhecidas pelos informantes locais como siriba branca e siriba preta. Pretendia-se com as análises do modelo 5 investigar até que ponto estas eram distinguíveis apenas pela forma da

folha. Então, no Modelo 5A foram comparados os três grupos vernáculos de *A. germinans*, dois da área regenerada (siriba branca e siriba preta) e um da área conservada (siriba branca). Essas populações apresentaram diferenças altamente significativas nos CPs1 e 3 (Tabela 12, Fig. 27) e apresentaram distribuições sobrepostas, mas distintas, na ordenação (Fig. 28).

Tabela 12 - Modelo 5A. Comparação das variáveis de forma da folha de *Avicennia germinans* em três populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares nas áreas conservadas (Siriba Branca, n = 87) e regeneradas (Siriba Branca, n = 90, Siriba Preta, n = 90) em Araioses.

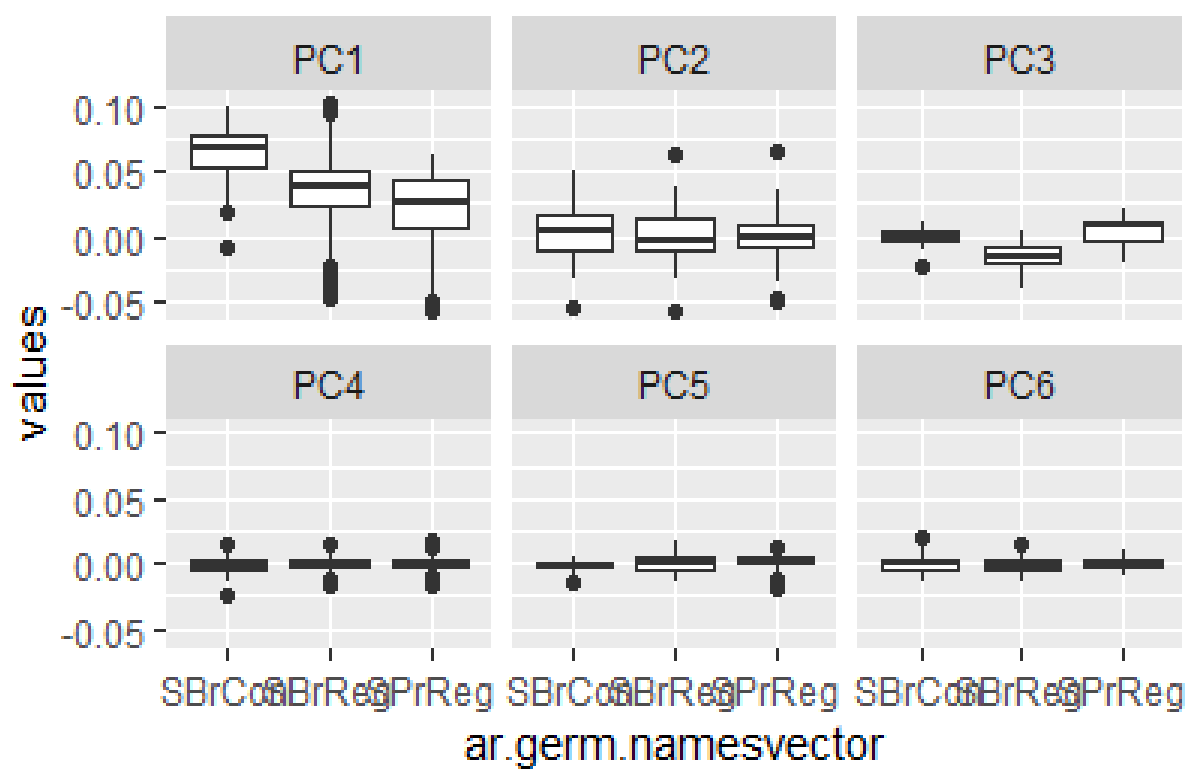
<b>Variável de forma</b>	<b>Porcentagem da variação total</b>	<b>Simetria variável forma</b>	<b>Distribuições da normal<sup>1</sup></b>	<b>Homogeneidade de variações<sup>2</sup></b>	<b>Significado da diferença de espécies<sup>3</sup></b>
PC1	79.34	Simétrico	Não	Não	p-value = 2.2e-16 ***
PC2	11.38	Assimétrico	Borderline	Sim	ns
PC3	5.19	Simétrico	Não	Não	p-value = 2.2e-16 ***
PC4	1.16	Assimétrico	Não	Borderline	p-value = ns
PC5	0.99	Simétrico	Não	Não	p-value = 1.637e-06 ***
PC6	0.81	Assimétrico	Sim	Não	p-value = borderline ns
PC7	0.34	Simétrico	Não	Sim	p-value = 5.514e-11 ***

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variancia, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

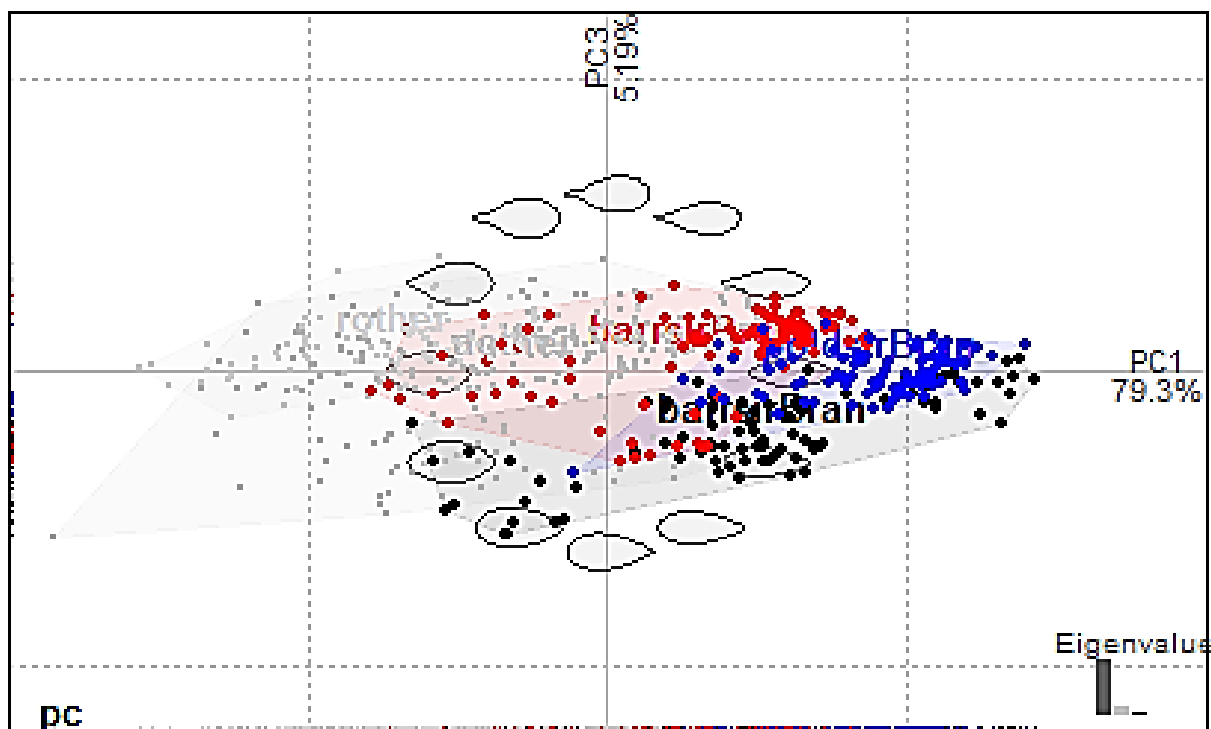
Na análise do KNN, os dois grupos de siriba branca foram agrupados e a análise os comparou, por um lado, com o grupo único siriba preta, por outro; o resultado mostrou um alto nível de atribuição correta para os dois grupos de siriba (Fig. 9; siriba branca 95,5%, siriba preta 92,2%).

Figura 27 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em três populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares nos conservados (Siriba Branca, n = 87) e regenerados (Siriba Branca, n = 90, Siriba Preta, n = 90) no município de Araioses.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 28 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variância total) de *Avicennia germinans* comparando plantas de três populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares nas áreas conservadas (em azul, Siriba Branca, n = 87) e áreas regeneradas (em preta, Siriba Branca, n = 90; vermelha, Siriba Preta, n = 90) no município de Araiões; plotados no espaço do componente principal (PC) do conjunto de dados.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

No modelo 5B comparou-se apenas as populações de siriba branca e siriba preta na área regenerada de Araiões, ou seja, duas populações de igual tamanho de amostra ( $n = 90$ ), excluindo assim qualquer variação decorrente da diferença de número de amostra entre áreas conservadas e regeneradas (fig. 29). A diferença mais importante entre os dois grupos vernaculares foi mostrada pelo CP3 (Tabela 13, Fig. 30), que foi altamente significativo.

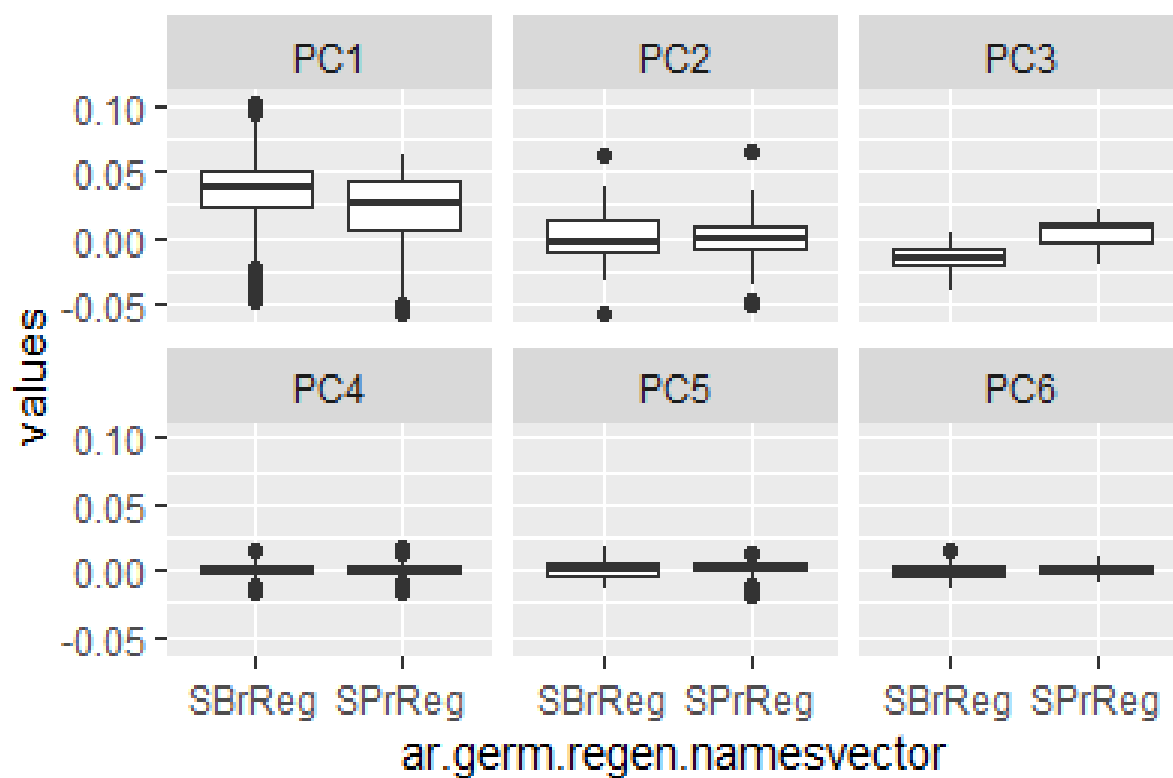
Tabela 13 - Modelo 5B. Comparação das variáveis de forma da folha de *Avicennia germinans* em duas populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares na área regenerada (Ilha das Barreiras) do município de Araioses (Siriba Branca, n = 90, Siriba Preta, n = 90).

<b>Variável de forma</b>	<b>Porcentagem da variação total</b>	<b>Simetria variável forma</b>	<b>Distribuições da normal <sup>1</sup></b>	<b>Homogeneidade de variações <sup>2</sup></b>	<b>Significado da diferença de espécies <sup>3</sup></b>
PC1	79.34	Simétrico	Não	Sim	p-value = 0.002003 **
PC2	11.38	Assimétrico	Não	Sim	ns.
PC3	5.19	Simétrico	Não	Sim	p-value = 2.2e-16 ***
PC4	1.16	Assimétrico	borderline	Sim	p-value = ns
PC5	0.99	Simétrico	Não	Borderline	p-value = 0.008558 **
PC6	0.81	Assimétrico	Sim	Sim	p-value = 0.0154 *
PC7	0.34	Simétrico	não	Borderline	p-value = 2.042e-07 ***

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variância, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

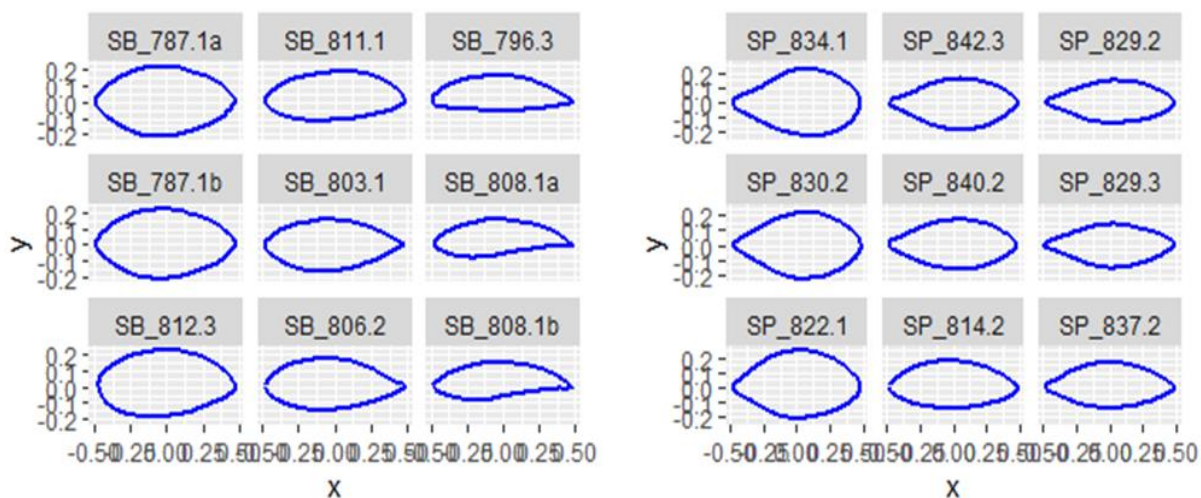
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 29 - *Boxplots* mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) nas duas populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares, área regenerada no município de Araioses (Siriba Branca, n = 90, Siriba Preta, n = 90).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 30 - Variação da forma das folhas de *Avicennia germinans* comparando plantas de duas populações de *Avicennia germinans* reconhecidas com nomes vernaculares nas áreas regeneradas do município de Araisos (Siriba Branca, n = 90; Siriba Preta, n = 90). Das ordenações de componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3. Variações à esquerda: Siriba Branca; variações à direita: Siriba Preta. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos CP dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A análise KNN mostrou níveis ainda mais altos de atribuição correta do que no Modelo 5A (Fig. 09; siriba branca 96,7%, siriba preta 93,3%). A comparação da faixa de forma mostrou que a siriba branca varia de elíptica a ovalada, mais comumente a última e com pontas mais agudas ou mesmo acuminadas. A siriba preta é mais comumente obovada, mas também varia até elíptica. Nos dois grupos, as folhas variam consideravelmente em largura relativa, de bastante larga a estreita.

## Fatores ambientais

### Diferenças geográficas

O modelo 6 consistiu em uma comparação global dos indivíduos dos dois municípios, Água Doce (n = 270) e Araisos (n = 357). O resultado mostrou diferença altamente significativa no CP1 e diferença menor, mas ainda significativa, no CP3 (Tab. 14, Fig. 31). A ordenação CPACP mostra sobreposição muito substancial (Fig. 32) e discriminação bastante fraca pela análise KNN (Fig. 9; Água Doce 73,3%, Araisos 79,3%).



Tabela 14 - Modelo 6. Comparação das variáveis de forma da folha em todos os indivíduos de *Avicennia* spp. entre os municípios de Água Doce (n = 270) e Araíoses (n = 357).

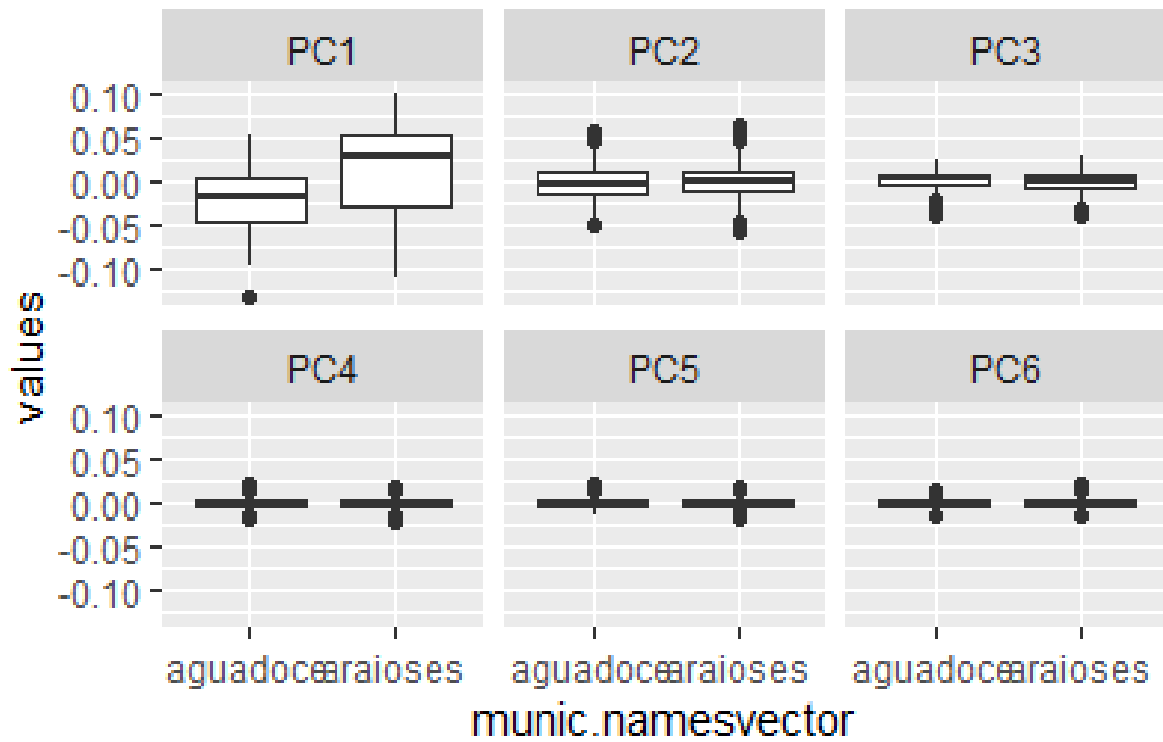
<b>Variável de forma</b>	<b>Porcentagem da variação total</b>	<b>Simetria variável forma</b>	<b>Distribuições da normal <sup>1</sup></b>	<b>Homogeneidade de variações <sup>2</sup></b>	<b>Significado da diferença de espécies <sup>3</sup></b>
PC1	79.34	Simétrico	não	Não	p < 2e-16 ***
PC2	11.38	Assimétrico	não	Sim	p = ns
PC3	5.19	Simétrico	não	Sim	p = 0.001662 **
PC4	1.16	Assimétrico	não	Sim	p = ns
PC5	0.99	Simétrico	não	Não	p = ns
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Não	p = ns
PC7	0.34	Simétrico	não	Não	p = 0.002535 **

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variância, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\* p < 0.001.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

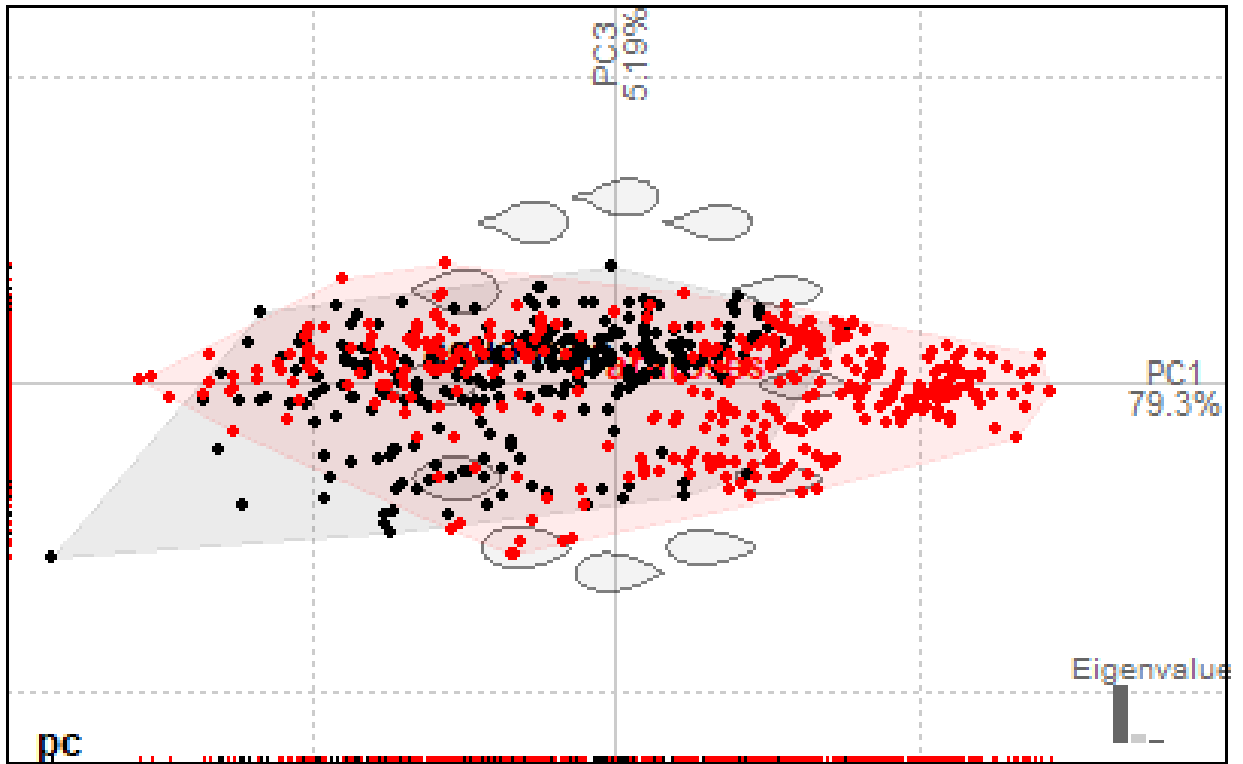
A comparação do intervalo de formas mostra que a principal diferença de forma entre as áreas está na largura relativa das folhas, que em Araíoses é mais comumente mais estreita que em Água Doce, correspondendo à predominância do eixo CP1 como principal variável diferenciadora e distribuições sobrepostas em CP1, mas distintas, na ordenação (Fig. 32, 33).

Figura 31 - *Boxplots* mostrando diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em todos os indivíduos de *Avicennia* spp. entre os municípios de Água Doce (n = 270) e Araisos (n = 357).



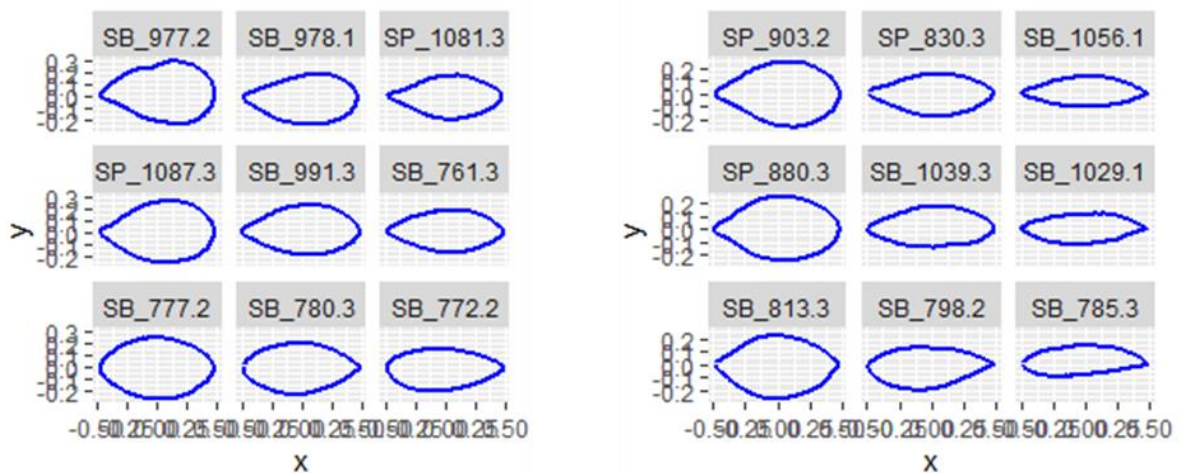
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 32 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma PC1 e PC3 (expressando 84,53% da variância total) de todos os indivíduos de *Avicennia* spp. comparando as ocorridas nos municípios de Água Doce (em preto, n = 270) e Araiões (em vermelho, n = 357), plotados no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 33 - Variação da forma da folha de *Avicennia* spp. comparando entre áreas em dois municípios diferentes. Das ordenações de componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3. Variações à esquerda: Água Doce; variações à direita: Araiões. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos CP dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentis 10, 50 e 90 de cada eixo.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

### Ação humana

O modelo 7 comparou todos os indivíduos das áreas conservadas (n = 357) com os das áreas regeneradas (n = 270). As variáveis de forma CP1 e CP3 foram significativamente diferentes, sendo as últimas mais fortemente diferenciáveis (Tab. 15, Fig. 34, 35). Isso é visualizado na ordenação como uma diferença mais clara entre as duas nuvens de pontos ao longo do eixo CP3 (Fig. 36). Na análise KNN, os indivíduos das áreas conservadas foram designados de forma mais consistente ao grupo correto do que os das áreas regeneradas (conservado 90,5%, regenerado 77,4%).

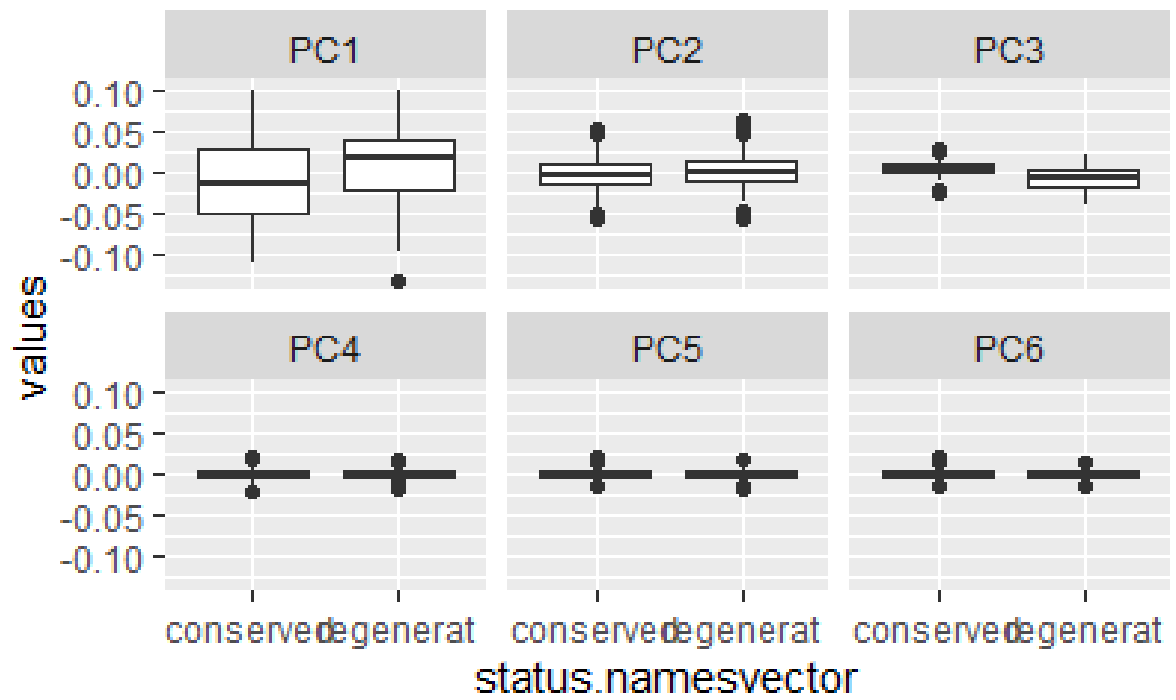
Tabela 15 - Modelo 7. Comparação das variáveis de forma da folha em todos os indivíduos de *Avicennia* spp. entre áreas conservadas (n = 357) e regeneradas (n = 270).

Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria da variável forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	não	Não	p < 1.433e-07 ***
PC2	11.38	Assimétrico	não	Sim	p = 0.01724 *
PC3	5.19	Simétrico	não	Não	p = 2.2e-16 ***
PC4	1.16	Assimétrico	não	Sim	ns
PC5	0.99	Simétrico	não	Não	p = 0.001339 **
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Sim	p = 0.0199 *
PC7	0.34	Simétrico	não	Sim	ns

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variancia, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significativo. \*\*\* p < 0.001.

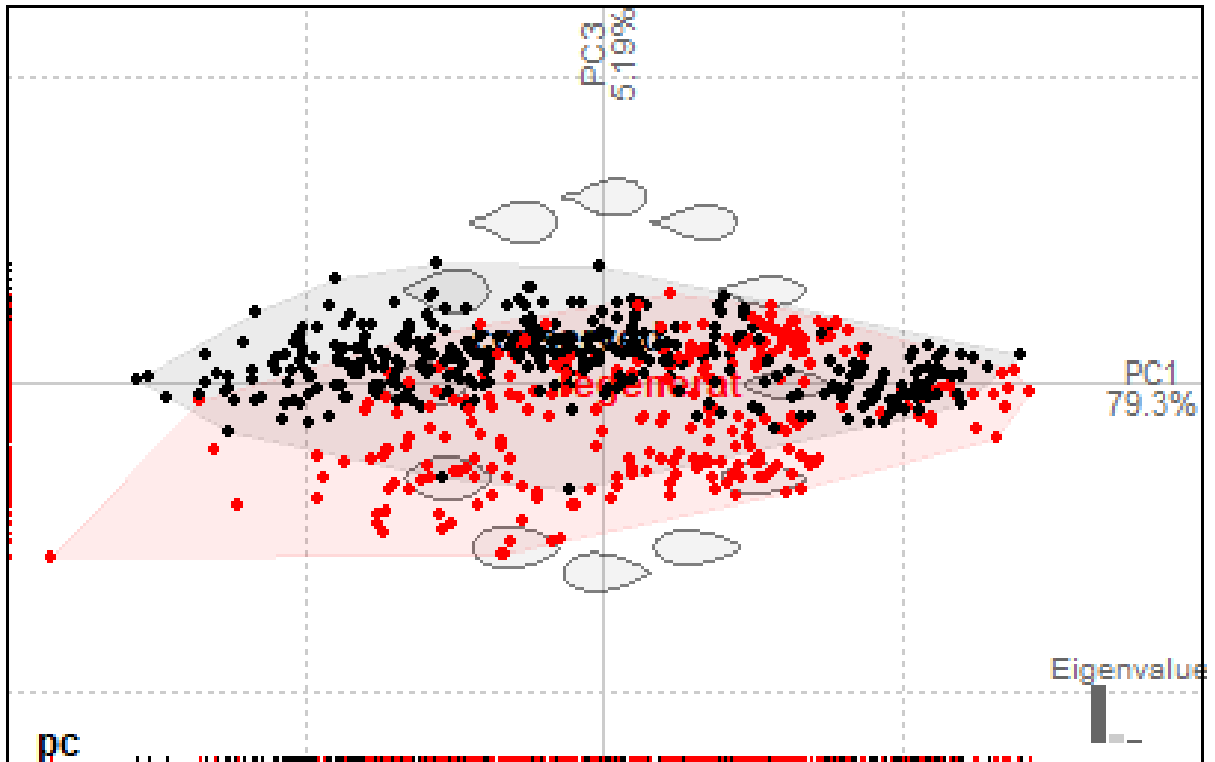
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 34 - *Boxplots* mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) em todos indivíduos de *Avicennia* spp. entre áreas conservadas (n = 357) e regeneradas (n = 270).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 35 - Ordenação do componente principal das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variância total) de todos os indivíduos de *Avicennia* spp. comparando aqueles que ocorrem nas áreas conservada (preta, n = 357) e regenerada (vermelha, n = 270), plotadas no espaço do componente principal de todo o conjunto de dados.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 36 - Variação da forma da folha de *Avicennia* spp. comparando entre áreas de mangue em dois estados diferentes de conservação. Das ordenações de componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3. Gráfico à esquerda: áreas conservadas; gráfico à direita: áreas regeneradas. Em cada parcela, o contorno central corresponde à folha mais próxima da mediana da articulação dos dois eixos PC dessa espécie. Os outros contornos são das folhas mais próximas aos percentuais 10, 50 e 90 de cada eixo.



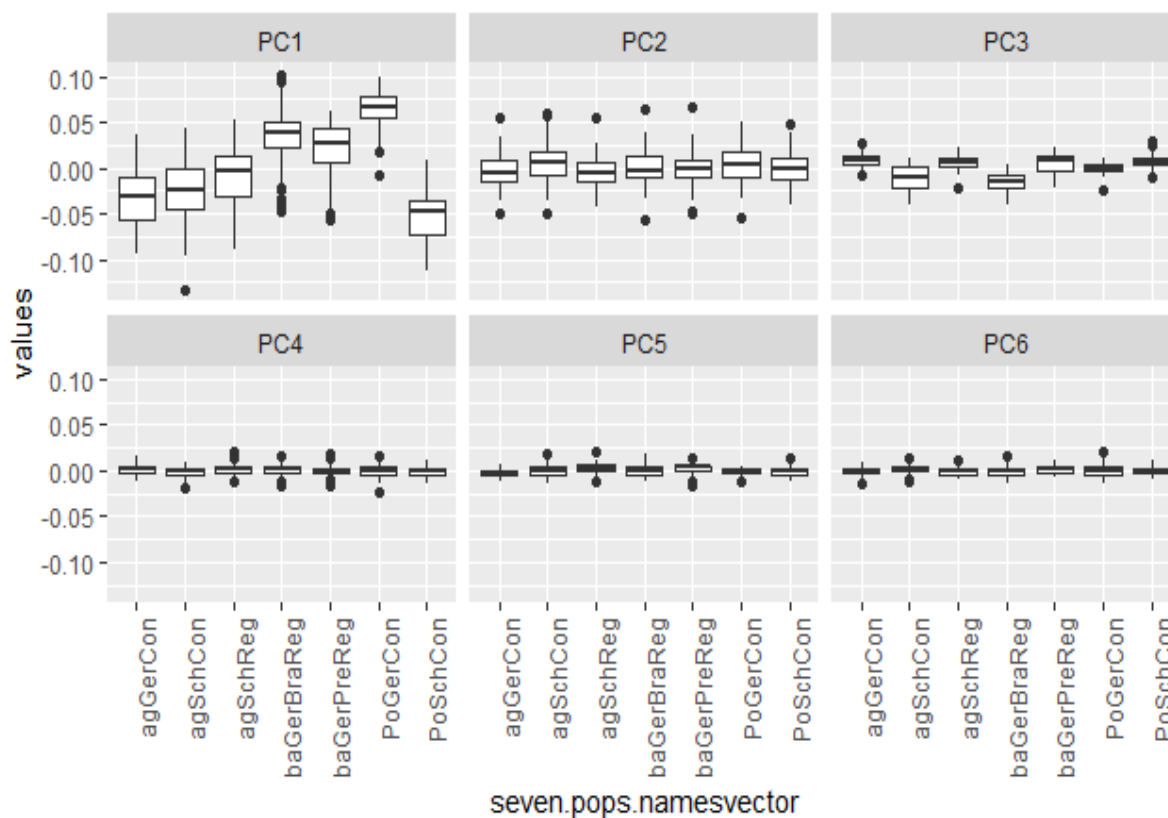
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A comparação do intervalo de formas (Fig. 36) mostrou que nas áreas conservadas a forma da folha é mais comumente obovada, enquanto nas áreas regeneradas a forma elíptica a oval é mais comum, refletindo a diferença mais forte ao longo do eixo CP3. A largura relativa das folhas, mais influenciada pelo CP1, varia de maneira semelhante nos dois grupos.

### **As sete populações definidas**

No modelo 8, comparou-se as formas das folhas de cada uma das sete populações definidas (tab. 2). São grupos que combinam espécies, status de conservação, área geográfica e forma vernacular em diferentes combinações. Todas as variáveis de forma simétrica mostraram diferenças altamente significativas entre os sete grupos (Tab. 16, Fig. 37), e a ordenação ACP mostrou que os pares de grupos eram distintos. Entretanto, grande parte dessa diferenciação se deve à distinção entre as duas formas de siriba branca (*A. germinans*) nas áreas conservadas e regeneradas de Araioses (Fig. 38), como mostrado quantitativamente pelos resultados do KNN (Fig. 9; 82,8% e 73,3 % de atribuições corretas, respectivamente).

Figura 37 - Boxplots mostrando a diferença nos valores das variáveis de forma (seis primeiros componentes principais) nas sete populações definidas no estudo: agGerCon = área conservada de Água Doce *Avicennia germinans*; agSchCon = área conservada de Água Doce *Avicennia schaueriana*; agSchReg = área regenerada da Água Doce *A. schaueriana*; baGerBraReg = Área regenerada de Araioses *A. germinans* Siriba Branca; baGerPreReg = Área regenerada de Araioses *A. germinans* Siriba Preta; PoGerCon = área conservada de Araioses *A. germinans*; PoSchCon = Área conservada de Araioses *A. schaueriana*.

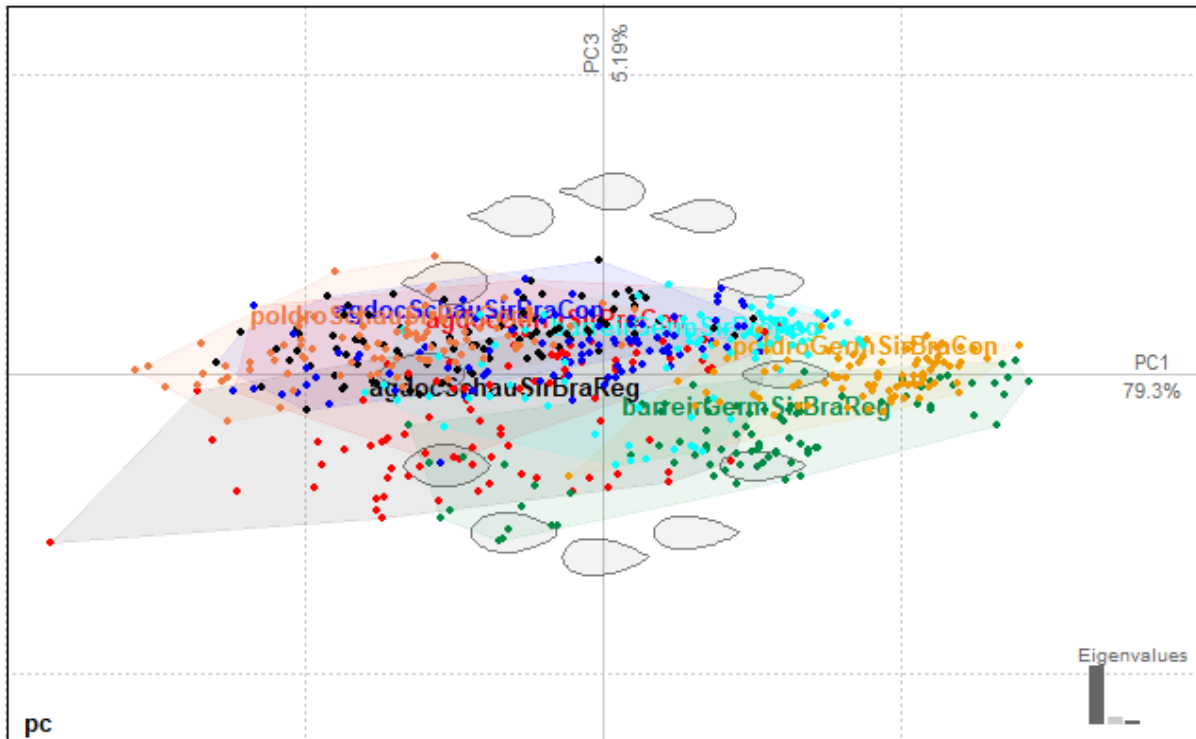


Fonte: Dados da pesquisa (2021)

As três populações de Água Doce apresentaram níveis particularmente baixos de atribuição bem-sucedida (Fig. 9; 48,9% a 54,4%).



Figura 38 - Ordenação dos componentes principais das variáveis simétricas de forma CP1 e CP3 (expressando 84,53% da variância total) das sete populações definidas no estudo: área conservada agGerCon = Água Doce *Avicennia germinans* (n = 90); agSchCon = área conservada de Água Doce *A. schaueriana* (n = 90); agSchReg = área regenerada da Água Doce *A. schaueriana* (n = 90); baGerBraReg = Área regenerada de Araiões *A. germinans* Siriba Branca (n = 90); baGerPreReg = Área regenerada de Araiões *Avicennia germinans* Siriba Preta (n = 90); PoGerCon = área conservada de Araiões *Avicennia germinans* (n = 87); PoSchCon = Área conservada de Araiões *Avicennia schaueriana* (n = 90).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Tabela 16 - Modelo 8. Comparação das variáveis de forma da folha nas sete populações definidas no estudo (consulte a Tabela 1 para obter detalhes das populações).

Variável de forma	Porcentagem da variação total	Simetria variável forma	Distribuições da normal <sup>1</sup>	Homogeneidade de variações <sup>2</sup>	Significado da diferença de espécies <sup>3</sup>
PC1	79.34	Simétrico	não	Não	$p < 2.2e-16$ ***
PC2	11.38	Assimétrico	não	Sim	$p = 0.0005954$ ***
PC3	5.19	Simétrico	não	Não	$p < 2.2e-16$ ***
PC4	1.16	Assimétrico	não	Sim	$p = 0.0009357$ ***
PC5	0.99	Simétrico	não	Não	$p = p < 2.2e-16$ ***
PC6	0.81	Assimétrico	sim	Não	$p = 0.0007226$ ***
PC7	0.34	Simétrico	não	Borderline	$p = 2.2e-16$ ***

<sup>1</sup> Teste Shapiro-Wilk. <sup>2</sup> Testes Fligner-Killeen (não paramétrico) e Bartlett (paramétrico). <sup>3</sup> Testes Kruskal-Wallis (não paramétrico) e Teste ANOVA (paramétrico); se ambas distribuições normais e homogeneidade de variância, o teste paramétrico é reportado, por outro lado, o teste não paramétrico é mostrado. ns = não significante. \*\*\*  $p < 0.001$ .

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

## DISCUSSÃO

A interpretação ambiental da variação observada é limitada pela baixa replicação de fatores geográficos e ecológicos representados pelas quatro áreas amostradas (QUINN; KEOUGH, 2002). Esse desenho amostral foi orientado pelo foco essencialmente taxonômico do estudo. Nosso objetivo foi coletar amostras intensivamente em uma variedade limitada de *habitats* e estimar quão bem as duas espécies poderiam ser discriminadas apenas pela forma das folhas. Embora as quatro áreas tenham sido definidas precisamente pela localização geográfica, os dois níveis de perturbação foram mais vagamente diferenciados, contando com informações de informantes locais. Um estudo ecologicamente focado levaria em consideração muitos outros fatores, como salinidade, tipo de substrato, evidência de interferência humana, microclima local, fluxo de maré, etc. e o desenho da amostragem seria diferente daqueles apresentados aqui. Nossa abordagem, no entanto, foi suficiente para mostrar um grau de variabilidade da forma das folhas tão amplo e sobreposto que confundir a discriminação entre espécies em todas as florestas de mangue, exceto as altas, maduras e não perturbadas.

Este estudo da variação da forma das folhas é apresentado de forma crítica pela determinação das espécies, que, conforme detalhado anteriormente, eram separadas pela presença ou ausência de pubescência na superfície adaxial dos lobos da corola. Em estudos anteriores, esse carácter é o diagnóstico de espécie mais consistentemente usado. Descobrimos

que outros caracteres florais eram menos fáceis de usar, por exemplo, o estilete e o comprimento do estame que requerem a comparação de flores no mesmo estágio de maturidade, além da zigomorfia da corola que é mais difícil de quantificar e avaliar em material de herbário. A base diagnóstica do reconhecimento de nossa espécie é, portanto, bastante estreita, assim não investigamos quantitativamente a variabilidade de outros caracteres taxonômicos, reprodutivos ou vegetativos. O trabalho de Duke no complexo australiano *A. marina* (DUKE, 1990; 1991; 1992) mostrou como a morfometria multivariada pode ser útil para fornecer uma base taxonômica mais ampla e confiável para estudos ecológicos e geográficos. Os estudos de Mori (2013) e Mori *et al.* (2015a e b) são, provavelmente os mais confiáveis a esse respeito, pois a caracterização molecular de *A. germinans* e *A. schaueriana* feito por estes autores revelaram a complexa variação genética intraespecífica, destacando ainda a necessidade de uma compreensão quantitativa mais detalhada da variação morfo-taxonômica dessas espécies.

Daniel (2016) reporta três espécies comumente ocorrentes na América do Norte e Central, sendo uma delas *Avicennia germinans* como a espécie mais bem distribuída no Novo Mundo. Na América Central, ao sul de Belize, a extensão das comunidades de manguezais e a abundância de *A. germinans* são melhor desenvolvidas ao longo do Pacífico do que a costa do Caribe (McMILLAN; SHERROD, 1986; CAVANAUGH *et al.*, 2014). Daniel (2016) ainda comenta acerca da variação morfológica ser considerável nesta espécie, especialmente no que diz respeito ao hábito e tamanho e forma da folha. Por exemplo, embora seja comumente uma árvore, *A. germinans* torna-se um arbusto anão na extensão norte de sua faixa no Golfo do México (McMILLAN; SHERROD 1986). Moldenke (1960) discutiu a variação desta espécie em relação a esses e outros atributos, como por exemplo temperatura, sendo fator distributivo desta espécie.

Nosso estudo mostra uma gama mais ampla de formato de folha do que o relatado anteriormente. As primeiras descrições de Schauer (SCHAUER, 1851) correspondem razoavelmente bem às formas que observamos na floresta de mangue alta e conservada em Araioses. As ilustrações de Tomlinson da variação de folhas em *A. germinans* da Costa Rica e da Flórida (TOMLINSON, 1986: 193; 2016: 197) concordam melhor com as formas exibidas em outras áreas. Para a maioria dos autores, *A. germinans* possui folhas com ponta obtusada, mas observamos uma proporção significativa de folhas com ápices acentuadamente agudas a acuminadas na população conservada em Araioses.

Estudos anteriores de variáveis de forma de componentes principais usando material em coleções de germoplasma (FURUTA *et al.*, 1995; IWATA *et al.*, 2002; YOSHIOKA *et al.*, 2004) estabeleceram que variáveis simétricas refletem diferenças de forma geneticamente

controladas mais fortemente do que as assimétricas. Isso nos forneceu a base para focar nos PCs 1 e 3 como as variáveis taxonomicamente significativas de forma neste estudo. A análise elíptica de Fourier foi usada anteriormente para estudar as formas das folhas de mangue por Coronado *et al.* (2008), que investigaram a variação do *Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob. (Rhizophoraceae) nas Filipinas. Em contraste com a nossa abordagem, eles realizaram PCAs em matrizes separadas, consistindo em coeficientes de Fourier simétricos e assimétricos. No entanto, seus resultados foram semelhantes aos nossos, pois descobriram que os PCs principais simétricos correspondiam a diferenças na proporção da folha e na forma da base, enquanto os PCs assimétricos principais pareciam expressar assimetria flutuante e, portanto, instabilidade no desenvolvimento. Robot *et al.* (2018) mediram e compararam parâmetros de tamanho de folhas (comprimento, largura, área, perímetro) em duas populações de *A. marina*, mas sem comentar detalhadamente as relações simetria-assimetria.

A inclusão da forma das folhas na determinação de *A. germinans* e *A. schaueriana* pode levar a falta de clareza em suas faixas geográficas detalhadas (Tomlinson, 2016: 211). Os estudos de Mori *et al.* (2015a, b) são provavelmente os mais confiáveis a esse respeito, pois esses autores rastrearam as faixas de espécies com dados moleculares e amostraram *A. germinans* atingindo o delta do Rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro e *A. schaueriana* mais ao sul, próximo a Laguna, no estado de Santa Catarina. Duke (1995), Dodd *et al.* (2000) e Daniel (2016) relataram faixas semelhantes para *A. schaueriana* e *A. germinans*. Profice *et al.* (2020), no entanto, registraram *A. germinans* no sul do estado do Paraná.

A forma da folha em *A. germinans* parece ser mais sujeita às mudanças nas condições de crescimento quando comparadas com *A. schaueriana*. Robot *et al.* (2018) compararam caracteres morfométricos das folhas de *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. em diferentes localidades na Indonésia. Os resultados aqui apresentados sugerem que nas árvores em regeneração ou mais curtas, as folhas das espécies anteriores tendem a ser menores e mais obovadas com pontas obtusas a arredondadas. Soto & Corrales (1987) relataram mudanças comparáveis na forma e tamanho das folhas nas populações costeiras de *A. germinans* no Pacífico, sob diferentes condições de aridez e salinidade. Em condições menos salinas e chuvas mais altas e menos sazonais, as árvores eram mais altas e as folhas eram maiores e predominantemente elípticas com ápices agudas. Com maior salinidade, associada ao clima mais seco, as árvores eram mais curtas e as folhas tendiam a ser menores, com maior proporção de formas obovadas ou obovadas-elípticas e pontas mais obtusas. Uma complexidade adicional na interpretação da variação morfológica das folhas em *Avicennia* é sugerida por um estudo genético recente. Cruz *et al.* (2020) mostraram que as populações de *A. germinans* ao longo da

costa norte do Brasil exibem diferenças genéticas associadas à variação nas chuvas e na entrada de água doce dos rios (afetando os níveis de salinidade) e as interpretam como respostas pela seleção natural. Determinantes da variação da forma da folha observados em nosso estudo podem, portanto, provar ter um componente genético, consistindo apenas em respostas da norma de reação (SCHLICHTING; PIGLIUCCI, 1998).

*Avicennia schaueriana* não mostrou convergência consistente na mudança de forma com o tamanho nas três áreas em que foi observada e expressou uma faixa de variação de forma mais restrita que *A. germinans*. Em uma escala geográfica muito maior, no entanto, Cruz et al. (2019) relataram que mudas de *A. schaueriana* da costa norte do Brasil com fortes chuvas sazonais tinham folhas menores do que aquelas de regiões subtropicais menos sazonais da costa leste do Atlântico, além de outras diferenças morfofisiológicas e genéticas. Eles interpretaram isso como evidência de maior estresse hídrico nas populações tropicais, implicando uma resposta de tamanho comparável à relatada por Soto & Corrales (1987) para *A. germinans*.

No Maranhão, onde as duas espécies foram relatadas (Flora do Brasil 2020, 2020), Meireles *et al.* (2018) relataram que *A. germinans* tem os nomes vernaculares mangue-preto, siriba ou sereiba ou mangue-siriba e mangue-canoé, sendo utilizadas para apetrechos de pesca, construção de casas, construção de barcos e produção de carvão vegetal (MEIRELES, 2012; 2016; MEIRELES *et al.*, 2017). Nas áreas onde nosso estudo foi realizado, os nomes vernaculares eram siriba branca e siriba preta, que, como observado anteriormente, foram empregados em sentidos opostos nos dois municípios, sendo nossos informantes de comunidades diferentes em cada caso. Além disso, apesar da proximidade da localidade de estudo das Araiões com os apresentados por Meireles *et al.* (2017), os nomes vernaculares que eles relataram para *A. germinans* não incluíam siriba branca. Claramente, existe falta de uniformidade, mesmo localmente, na aplicação desses nomes vernáculos às entidades reconhecidas por nós como espécies taxonômicas, mas isso pode ser um reflexo da variação local na morfologia das plantas, uma vez que nossos resultados, apresentados neste estudo, no Modelo 5, mostram que os dois morfotipos vernáculos de *A. germinans* observados apresentam formas foliares distintas. Moldenke (1960) forneceu listas de nomes vernaculares derivados de várias línguas para *A. germinans* e *A. schaueriana* e, nos dois casos, incluem termos descritivos referentes à sua qualidade branca ou preta, utilizadas nas áreas de estudos, entre muitos outros nomes. Por exemplo, *A. germinans* pode ser chamado mangue-branco ou mangle negro, enquanto *A. schaueriana* é designado como siriba preta ou mangue branco. Estudos etnotaxonômicos adicionais seriam desejáveis.

## CONCLUSÕES

Através das análises propostas, verificou-se que há duas espécies presentes nas áreas estudadas: *Avicennia germinans* e *A. schaueriana*. As folhas das duas espécies são significativamente diferentes em forma e tamanho, mas uma sobreposição substancial torna a determinação individual não confiável apenas utilizando as folhas. A diferença na forma foliar entre as espécies foi mais discreta nas populações (regeneradas) menos perturbadas e maiores da floresta de mangue (conservadas). As diferenças entre espécies foram expressas principalmente pela variação na largura relativa da folha e na forma da base da folha associada.

A forma das folhas parece variar mais amplamente dentro de *A. germinans* do que em *A. schaueriana*. As diferenças dentro das espécies na forma das folhas entre as áreas conservadas nos locais amostrados foram expressas principalmente pela alteração na largura relativa das folhas. Por outro lado, diferenças de forma dentro das espécies entre áreas conservadas e em regeneração em um local foram observadas principalmente na mudança no centro de gravidade das folhas (posição do ponto mais largo da folha ao longo de seu eixo principal).

As duas espécies não mostram comportamento geral consistente na correlação de forma e tamanho. *A. schaueriana* mostrou tendências diferentes, dependendo da localização geográfica e do nível de perturbação. Em *A. germinans*, as folhas tornaram-se mais ovadas com o aumento do tamanho, mas apenas em áreas conservadas, e não houve correlação com a largura relativa.

As espécies e diferenças geográficas foram expressas principalmente pela mudança na largura relativa das folhas, enquanto as diferenças entre áreas conservadas e regeneradas foram expressas principalmente pela mudança na posição do ponto mais largo da folha ao longo de seu eixo principal (centro de gravidade das folhas).

Investigações etnotaxonômicas detalhadas são necessárias para determinar a variedade de caracteres usados pelas especialistas locais para reconhecer os táxons vernaculares de *Avicennia*, que mostraram diferir significativamente na forma das folhas em pelo menos um local.

São necessários estudos morfométricos multivariados em diferentes escalas geográficas, de populações continentais a locais, incluindo caracteres reprodutivos e vegetativos. Isso poderia fornecer uma base mais confiável para a determinação de espécies em *A. germinans* e *A. schaueriana* e apoiar estudos integrativos que combinam dados genéticos morfológicos, ecológicos e moleculares.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através de bolsa de pós-graduação (Doutorado) concedida à primeira autora, fundamental para a realização deste trabalho. À Universidade Federal do Piauí e Universidade Federal do Delta do Parnaíba. Ao Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (ICMBio-SISBIO). Agradecemos ainda a Dra. Ivanilza Moreira de Andrade Agradecemos ao Dr. Vincent Bonhomme por sua ajuda no uso do pacote analítico Momocs para análises elípticas de Fourier S. Mayo agradece ao Royal Botanic Gardens Kew pelo apoio logístico. Agradecemos ainda pelo auxílio no campo de especialistas locais, senhor Raimundo Nonato de Souza Silva (senhor Raimundinho; ao senhor Vicente de Paulo Cirilo (Paulão), morador da Ilha das Barreiras; ao senhor Francisco Rodrigues (senhor Chico), morador de Água Doce do Maranhão, por contribuição para a execução deste trabalho e compartilhamento de suas experiências empíricas. Para os pescadores de Água Doce do Maranhão, em especial ao senhor Edino Silva que nos acompanha nas expedições e auxílio nas coletas das amostras.

## REFERÊNCIAS

- Acanthaceae in Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB34115>. Acesso em: 27 dez. 2020.
- ALONGI, D. M. Carbon sequestration in mangrove forests. **Carbon Management**, London, n. 3, p. 313-322, 2014.
- ANDRADE I. M.; MAYO S. J.; KIRKUP, D.; VAN DEN BERG, C. Comparative morphology of populations of *Monstera Schott* (Araceae) from natural forest fragments in Northeast Brazil using elliptic Fourier Analysis of leaf outlines. **Kew Bulletin**, London, n. 63, p. 193-211, 2008.
- APG IV - Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, n. 161, p. 105-121, 2016.
- BELHUMEUR, P.; HESPANHA, J. P. N.; KRIEGMAN, D. J. Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition using class specific linear projection. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Toronto, n. 19, p. 711-720, 1997.
- BONHOMME, V.; PICQ, S.; GAUCHEREL, C.; CLAUDE, J. **Momocs**: Outline Analysis Using R. Journal of Statistical Software. Version 1.2.9. 2014. Disponível em: <https://cran.r-project.org/src/contrib/Archive/Momocs/>.
- BOOKSTEIN, F. L. Introduction to methods for landmark data. Eds. Rohlf F.J., Bookstein F.L. Proceedings of the Michigan morphometric workshop. Ann Arbor (Michigan): Univ. Michigan Mus. **Zool. Spec. Publ.**, n. 2, p. 215-225, 1990.
- BORG, A. J.; MCDADE, L. A.; Schönenberger, J. Molecular Phylogenetics and Morphological Evolution of Thunbergioideae (Acanthaceae). **Taxon**, n. 57, p. 811-822, 2008.
- CAVANAUGH, K. C.; KELLNER, J. R.; FORDE, A. J.; GRUNER, DANIEL, S.; PARKER, J. D.; RODRIGUEZ, W.; FELLER, I. C. Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, n. 111, p.723-727, 2014.
- CINTRON, G.; LUGO, A. E.; POOL, D. J.; MORRIS, G. Mangrove of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. **Biotropica**, n. 10, n. 110-121, 1978.
- CLAUDE, J. **Morphometrics with R**. – Springer, New York. 2008.
- CLOUGH, B. F.; ANDREWS, T. J.; COWAN, I. R. Physiological processes in mangroves In "Mangrove Ecosystems in Australia: Structure, Function and Management." (Ed B.F. Clough.) Australian National University Press. Canberra, pp. 194-210. 1982:
- CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Água Doce do Maranhão, Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil - CPRM. 2011a.**



CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E. R.; NUNES, O. O.; LOPES FILHO, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Araiões**, Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil- CPRM. 2011b.

CRUZ M. V.; MORI, G. M.; SIGNORI-MÜLLER, C.; DA SILVA, C. C.; OH, D. H.; DASSANAYAKE, M.; ZUCCHI, M.; I.; OLIVEIRA, R. S.; SOUZA, A. P. Local adaptation of a dominant coastal tree to freshwater availability and solar radiation suggested by genomic and ecophysiological approaches. **Scientific Reports**, n. 9, p. 19936, 2019.

CRUZ M. V.; MORI, G. M.; OH, D. H.; DASSANAYAKE, M.; ZUCCHI, M. I.; OLIVEIRA, R. S.; SOUZA, A. P. Molecular responses to freshwater limitation in the mangrove tree *Avicennia germinans* (Acanthaceae). **Molecular Ecology**, n. 29, p. 344-362, 2020.

DANIEL, T. F. *Avicennia* (Acanthaceae: Avicennioideae) in North America and Mesoamerica. **Proceedings of the California Academy of Sciences**, n. 4, p. 163-189, 2016.

DANIEL, T. F.; MCDADE, L. A. Nelsonioideae (Lamiales: Acanthaceae): Revision of Genera and Catalog of Species. **Aliso**, n. 32, p. 1313-45, 2014.

DEUS, M. S. M.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; RODRIGUES, S. M. C. B. S.; ANDRADE, V. C. D. **Estrutura da vegetação lenhosa de três áreas de manguezal do Piauí com diferentes históricos de antropização**. Brasil Florestal. 2003.

DIEHL, F. P.; SPINOLA, J. L.; AZEVEDO, N. T. Mudanças climáticas globais e os impactos físicos e biológicos na zona costeira: Uma proposta de classificação *In*: DANTAS, M.B., SÉGUIN, E., AHMED, F. (org.). **O Direito Ambiental na Atualidade**. Lumen Juris Ltda., Rio de Janeiro. 2010.

DI NITTO, D.; NEUKERMANS, G.; KOEDAM, N.; DEFEVER, H.; PATTYN, F.; KAIRO, J. G.; DAHDOUH-GUEBAS, F. Mangroves facing climate change: landward migration potential in response to projected scenarios of sea level rise. **Biogeosciences**, n. 11, p. 857-71, 2014.

DODD, R. S.; RAFII, Z. A.; BOUSQUET-M'ÉLOU, A. Evolutionary divergence in the pan-Atlantic mangrove *Avicennia germinans*. **New Phytologist**, n. 145, p. 115-125, 2000.

DOMÍNGUEZ, C. A.; EGUIARTE, L. E., NÚÑEZ-FARFÁN J.; DIRZO, R. Flower morphometry of *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): geographical variation in Mexican populations. – **American Journal of Botany**, n. 85, p. 637-643, 1998.

DUKE, N. C. Morphological variation in the mangrove genus *Avicennia* in Australasia: Systematic and ecological considerations. **Australian Systematic Botany**, n. 3, p. 221-239, 1990.

DUKE, N. C. **Nypa in the Mangroves of Panamá in Central America**: Introduced or Relic Principles. 1991.

DUKE, N. C. Mangrove floristics and biogeography. In: Robertson, A. T. and Alongi, D. M. (eds.), **Tropical Mangrove Ecosystems**. Washington, D. C. American Geophysical Union. 1992.

DUKE, N. C. Genetic diversity, distributional barriers and rafting continents – more thoughts on the evolution of mangroves. **Hydrobiologia**, n. 295, p. 167-181, 1995.

Embrapa. Centro Nacional de pesquisas de solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa – PI. 2006.

ESPIG, S. A. REIS, I. A.; ARAÚJO, E. P. Identificação do ecossistema mangue na Ilha do Maranhão através de técnicas de classificação utilizando imagens do sensor CCD-CBERS-2. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5731-5737. 2007.

FIDALGO, O.; BONONI, V. L. R. **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico**. Instituto de Botânica, Governo do Estado de São Paulo, – Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. 1989.

Flora do Brasil. 2020: Acanthaceae. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil, Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB79916>. Acesso em: 14 jan. 2020.

GALVINCIO, J. D.; POPESCU, S. C. Measuring Individual Tree Height and Crown Diameter for Mangrove Trees with Airborne Lidar Data. **International Journal of Advanced Engineering, Management and Science**, n. 2, n. 431-443, 2016.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T. **Paleontological data analysis**. Blackwell, Oxford. 2006.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de gestão e Diagnóstico Geo -Ambiental e Socioeconômico da APA do Delta do Parnaíba**. Ministério do Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Sociais da Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza. 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2010: Disponível em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=210090>. Acesso em: 03 out. 2019.

IBGE. **Água Doce do Maranhão** [Towns of Brazil]. 2020: Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/agua-doce-do-maranhao/panorama>. Acesso em: 02 abr. 2020.

ICMBIO. 2020: Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/visitacao1/unidades-abertas-a-visitacao/9411-area-de-protecao-ambiental-delta-do-parnaiba#>. Acesso em: 27 fev. 2020.

JAMES, G.; WITTEN, D.; HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. **An introduction to statistical learning with applications in R**. Springer, New York. 2013.

JOLLIFFE, I. T. **Principal components analysis**, UK: 2nd ed., Springer. 2002.

KAUFFMAN, J. B.; BHOMIA, R. K. Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa: global and regional comparisons. **PLoS ONE**, v. 12, n. 11, p. 1-17, 2017.

McDADE, L. A.; DANIEL, T. F.; KIEL, C. A. Toward a comprehensive understanding of phylogenetic relationships among lineages of Acanthaceae s.l. (Lamiales). **American Journal of Botany**, n. 95, n. 1136-1152, 2008.

- McMILLAN C.; SHERROD, C. L. The chilling tolerance of black mangrove, *Avicennia germinans*, from the Gulf of Mexico coast of Texas, Louisiana and Florida. **ContribMar Sci**, n. 29, p. 9-16, 1986.
- MEIRELES, V. J. S. **Etnobotânica e etnozootologia da comunidade pesqueira Canárias, Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba, Nordeste, Brasil**. 2012. 160 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.
- MEIRELES, V. J. S. **Estrutura e apropriação de espécies lenhosas de mangue no Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil**. 2016. 91f. Tese (Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2016.
- MEIRELES, M. P. A.; MEIRELES, V. DE J. S.; SANTOS, L. V.; BARROS, R. F. M. Socioeconomic profile of artisanal fishermen of the Passarinho community, Marine Protected Area of the Delta of Parnaíba, Araisos/MA. **Espacios**, v. 38, n. 13, p. 16, 2017.
- MEIRELES, V. J. S.; MEIRELES, M. P. A.; VIEIRA, F. J.; CAMPOS, J. B.; BARROS, R. F. M. Conhecimento botânico tradicional e conservação de espécies na RESEX Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil. **Espacios**, n. 39, n. 45, n. 4, 2018.
- MMA/SDS. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Baixo Rio Parnaíba**: Subsídios técnicos, Relatório Final. Brasília. 2002.
- MOLDENKE, H. N. Materials towards a monograph of the genus *Avicennia*. I, II & III. – **Phytologia** 7:123 – 68; 179 – 232; 259 – 93. 1960.
- MORI, G. M. **Characterization of natural populations of *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* (Acanthaceae) from mangrove forests along the Brazilian coast and analysis of a hybridization zone**: Phylogeography, population and community genetics. – PhD thesis, University of Campinas, Campinas. 2013.
- MORI, G. M.; ZUCCHI, M. I.; SOUZA, A. P. Multiple-Geographic-Scale Genetic Structure of Two Mangrove Tree Species: The Roles of Mating System, Hybridization, Limited Dispersal and Extrinsic Factors. **PLoS ONE**, n. 10, p. 1-23, 2015a.
- MORI, G. M.; ZUCCHI, M. I.; SAMPAIO, I.; SOUZA A. P. Species distribution and introgressive hybridization of two *Avicennia* species from the Western Hemisphere unveiled by phylogeographic patterns. **BMC Evolutionary Biology**, n. 15, n. 61, 2015b.
- MONTEIRO, L. R.; REIS, S. F. **Princípios de Morfometria Geométrica**. Holos, Ribeirão Preto. 1999.
- NURAKHMAN, K. **Ekosistem mangrove berdasarkan indikator kualitas lingkungan dan pengukuran morfometrik daun di kawasan hutan lindung Angke-Kapuk**, Jakarta Utara [skripsi]. Universitas Diponegoro-Semarang. 2002.
- PIGLIUCCI, M. **Phenotypic plasticity**: Beyond Nature and Nurture. Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press. 2001.
- PROFICE, S. R.; KAMEYAMA, C.; CÔRTEZ, A. L. A.; BRAZ, D. M.; INDRUNAS, A.; VILAR, T.; PESSOA, C.; EZCURRA, C.; WASSHAUSEN, D. 2015: **Acanthaceae** in Lista

de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB79917>. Acesso em: 08 dez. 2020.

PONTES, T. A.; ANDRADE, I. M.; RICHARDS, R. S.; HAIGH, A.; VAN DEN BERG, C.; MAYO, S. J. *Anthurium harleyi* (Araceae) – a new rupicolous species of Section Urospadix from the northern Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. **Kew Bulletin**, n. 74, p. 1-12, 2019.

QUINN, G. P.; KEOUGH, M. J. **Experimental design and data analysis for biologists**. – Cambridge: Cambridge University Press. 2002.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria. 2020: Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 06 mai. 2020.

RIPLEY, B.; VENABLES, W. **Package "class"**. 2020: Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/class/index.html>. Acesso em: 06 jun. 2020.

ROBOT, R.; SANGARI, J. R. R.; TOLOH, B. H. Visualisasi Data Digital Morfometrik Daun *Avicennia marina* Di Perairan Pantai Tongkaina Dan Bintauna. **Jurnal Ilmiah Platax**, n. 6, p. 41, 2018.

ROHLF, F. J. tpsDig, version 2.17. **Department of Ecology and Evolution**. State University of New York at Stony Brook. 2013a.

ROHLF, F. J. **tpsUtil, tps Utility program, version 1.58**. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook. 2013b.

Rstudio Team. **RStudio: Integrated Development Environment for R**. RStudio, Inc., Boston, Massachusetts. 2016. Disponível em: <http://www.rstudio.com>. Acesso em: 06 nov. 2020.

SOTO, R. S.; CORRALES, L. F. Variación de algunas características foliares de *Avicennia germinans* (L.) L. (Avicenniaceae) en un gradiente climático y de salinidad. **Revista de Biología Tropical**, n. 35, n. 245-256, 1987.

Specieslink. **O projeto speciesLink**. 2020. Disponível em: <http://www.splink.org.br>. Acesso em: 03 out. 2019. Acesso em: 06 abr. 2020.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves**. New York: Cambridge University Press. 1986.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves**. New York: Cambridge University Press, Second Ed. 2016.

TRIPP, E. A.; McDADE, L. A. A Rich Fossil Record Yields Calibrated Phylogeny for Acanthaceae (Lamiales) and Evidence for Marked Biases in Timing and Directionality of Intercontinental Disjunctions. **Systematic Biology**, n. 63, p. 660-684, 2014.

VARMUZA, K.; FILZMOSER, P. **Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics**. CRC Press, Boca Raton. 2009.

VISCOSI, V.; LOY, A.; FORTINI, P. Geometric morphometric analysis as a tool to explore covariation between shape and other quantitative leaf traits in European white oaks. *In*: Nimis

PL, Vignes Lebbe R, eds. **Tools for identifying biodiversity: progress and problems**. Paris: EUT. 2010.

WANG, X.; FENG, Z.; ANG, Z. O. The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China. **Forest Ecology and Management**, n. 148, p. 117-123, 2001.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant graphics for data analysis**. Springer, New York. 2016: Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org/>. Acesso em: 04 abr. 2020.

WILLIAM J.; CONOVER, M. E.; JOHNSON; M. M. JOHNSON. A comparative study of tests for homogeneity of variances, with applications to the outer continental shelf bidding data. **Technometrics**, n. 23, p. 351-361, 1981.

ZELDITCH, M. L.; SWIDERSKI, D. L.; SHEETS, D. L. **Geometric Morphometrics for Biologists, a Primer**. 2nd edition. Amsterdam. Elsevier. 2012a.

ZELDITCH, M. L.; SWIDERSKI, D. L.; SHEETS, D. L. **A practical companion to geometric morphometrics for biologists: running analyses in freely-available software**. 2012b. Disponível em: <http://booksite.elsevier.com/9780123869036/content/Workbook.pdf>. Acesso em: 03 set. 2020.

**MANUSCRITO 2 - Heterogeneidade estrutural em bosques de manguezal em áreas regeneradas e conservadas do Delta do Parnaíba, Maranhão, Brasil**

## HETEROGENEIDADE ESTRUTURAL EM BOSQUES DE MANGUEZAL EM ÁREAS REGENERADAS E CONSERVADAS DO DELTA DO RIO PARNAÍBA, MARANHÃO, BRASIL

<sup>1</sup>Maria Gracelia Paiva Nascimento, <sup>2</sup>Simon Joseph Mayo; <sup>3</sup>Ivanilza Moreira de Andrade

<sup>1</sup>Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, programa de pós-graduação pelo PRODEMA/UFPI, Campus Ministro Petrônio Portella. E-mail: [graceliapaiva@gmail.com](mailto:graceliapaiva@gmail.com), Bolsista CAPES;

<sup>2</sup>Pesquisador do Herbarium, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond TW9/UK. E-mail: [simonjosephmayo@gmail.com](mailto:simonjosephmayo@gmail.com);

<sup>3</sup>Docente do curso de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA/UFPI /UFPI; E-mail: [ivanilzaandrade@hotmail.com](mailto:ivanilzaandrade@hotmail.com).

### RESUMO

Os manguezais estão entre os ecossistemas mais vulneráveis e passíveis de degradação, sendo necessários estudos que ampliem sua compreensão. Nesta vertente, objetivou-se descrever e caracterizar o perfil climatológico, a florística e a fitossociologia de áreas de manguezais conservadas e em regeneração, nos municípios de Água Doce do Maranhão e Araióses, estado do Maranhão, ambas pertencentes a Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba. O perfil climatológico para as áreas estudadas foi analisado utilizando as médias mensais históricas de precipitação estimadas para o período de 20 anos (1998-2018). Para a florística e fitossociologia, foram alocadas 30 parcelas múltiplas de forma sistemática 10 x 10 m cada uma, totalizando 3000 m<sup>2</sup>, incluídos todos os indivíduos arbóreos com altura igual ou superior a 1,30 m e calculados os valores de altura média, diâmetro na altura do peito (DBH, calculado a partir de CBH), área basal, densidade absoluta (DA), densidade relativa (DoR), frequência absoluta (AF), frequência relativa (RF), dominância absoluta (ADo), dominância relativa (RDo), Índice do valor de importância (IVI) e Índice de Valor de Cobertura (IVC). As comparações entre áreas e as espécies foram realizadas utilizando o cálculo dos índices de diversidade de Shannon (H'), Índice de Riqueza e Índice de Equabilidade (J); análise de Similaridade; e os testes de Kruskal-Wallis, Kolmogorov-Smirnov e Tukey, em linguagem R. Para análise de agrupamento utilizou-se o programa *Past*. O perfil climatológico é caracterizado por dois períodos bem definidos na região, seco (junho a dezembro) e chuvoso (janeiro a maio). Foram registrados 2.636 indivíduos arbóreos distribuídos em três famílias, quatro gêneros e cinco espécies: *Laguncularia racemosa* (1276 indivíduos, Combretaceae), *Rhizophora mangle* (925 indivíduos, Rhizophoraceae), *Avicennia schaueriana* (264 indivíduos, Acanthaceae),

*Avicennia germinans* (161 indivíduos, Acanthaceae) e *Conocarpus erectus* (10 indivíduos, Combretaceae). A frequência de indivíduos pertencentes à categoria DAP de 1 a 10 cm foi a mais alta, à medida que o DAP aumenta. *Rhizophora mangle* foi à espécie com maior altura e DAP. Os parâmetros estruturais e a distribuição das espécies variaram entre as áreas analisadas, ocorrendo maior desenvolvimento estrutural nas áreas conservadas. Registrou-se um novo táxon para a região deltaica. As diferenças estruturais entre as quatro áreas bosques de mangue são influenciadas por fatores como ocorrência de espécies e nível de antropização. A comparação entre as quatro áreas demonstrou quanto a ocorrência de espécies por área que Água Doce estão mais próximas e mostram maior semelhança quando comparadas a composição de espécies das áreas de Araíoses. Dado o número de importantes mudanças ecológicas associadas à fragmentação dos manguezais, sugerimos que a fragmentação seja explorada como uma forma de monitorar em larga escala a deterioração dos ecossistemas de mangues.

**Palavras-chave:** APA; ecologia; fitossociologia; *Laguncularia racemosa*; manguezal.

## ABSTRACT

Mangroves are among the most vulnerable and degradable ecosystems, and studies are needed to broaden their understanding. In this regard, the objective was to describe and characterize the floristics and phytosociology of mangrove areas belonging to the Delta do Parnaíba Environmental Protection Area. The climatological profile for the studied areas was analyzed using the historical monthly averages of precipitation estimated for the period of 20 years (1998-2018). 30 multiple plots were systematically allocated each 10 x 10 m, including all tree individuals with height equal to or greater than 1.30 m and the values of average height, diameter at breast height (DBH, calculated from CBH) were calculated), basal area, absolute density (DA), absolute density (DA), relative density (DoR), absolute frequency (AF), relative frequency (RF), absolute dominance (ADo), relative dominance (RDo), Value index of importance (IVI) and Coverage Value Index (IVC). Comparisons between areas and species were performed using the calculation of the indices (Shannon's diversity indices ( $H'$ ), Wealth index and Equability index (J), Similarity analysis and the Kruskal-Wallis, Kolmogorov-Smirnov tests and Tukey) in R language and for cluster analysis, the Past program was used. The climatological profile is characterized by two well-defined periods in the region, dry (June to December) and rainy (January to May). 2,636 arboreal individuals distributed in three families, four genera and five species were registered: *Laguncularia racemosa* (1276



individuals, Combretaceae), *Rhizophora mangle* (925 individuals, Rhizophoraceae), *Avicennia schaueriana* (264 individuals, Acanthaceae), *Avicennia germinans* (161 individuals, Acanthaceae) and *Conocarpus erectus* (10 individuals, Combretaceae). The frequency of individuals belonging to the DAP category from 1 to 10 cm was the highest, as the DAP increased. *Rhizophora mangle* was the species with the highest height and DBH. Structural parameters and species distribution varied between the areas analyzed, with greater structural development occurring in the conserved areas. A new taxon has been registered for the delta region. The structural differences between the four areas of mangrove forests are influenced by factors such as species occurrence and level of anthropization. The comparison between the four areas showed how much the occurrence of species by area that Água Doce are closest to and show greater similarity when comparing the species composition of the Araiões areas. Given the important ecological changes associated with the fragmentation of mangrove forests, it is here proposed that the level of fragmentation should be used by environmental agencies and other stakeholders as a means to monitor the large-scale deterioration of mangrove ecosystems since this kind of data is currently lacking for the region.

**Keywords:** APA, Ecology, phytosociology, *Laguncularia racemosa*, Mangrove.

## INTRODUÇÃO

Os manguezais são comunidades vegetais halófitas de zonas subtropicais e tropicais, formadas principalmente por espécies arbóreas e arbustivas (HOGARTH, 2015; ROMERO-BERNY *et al.*, 2019). Ocorrem em planícies fluviais marinhas em solos ricos em material orgânico e sujeitas a inundações cíclicas, principalmente em regiões estuarinas (HOGARTH 2015; SCHAEFFER-NOVELLI *et al.*, 2015; TOMLINSON 2016; ARAÚJO *et al.*, 2018) e ao regime das marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995; MANTOVANI, 2002). A extensão atual dos manguezais a nível global foi estabelecida para o ano 2010 por Bunting *et al.* (2018), baseado em mapeamento de imagens de satélite.

As principais espécies vegetais que habitam manguezais possuem adaptações fisiológicas e estruturais para o ambiente onde crescem, no encontro das águas marinhas, águas doces e ambientes terrestres (ALONGI, 2008; BLASCO *et al.*, 1996). A extensão de manguezais muda de acordo com vários fatores tais como tamanho e frequência de marés e ondas, tipo e velocidade de acumulação de sedimentos, salinidade e temperatura (LUGO AND

SNEDAKER, 1974), este dinamismo inerente no ecossistema possibilita sua utilização como indicador de mudanças climáticas e ambientais.

A estrutura do manguezal oferece vários *habitats* para inúmeras espécies de animais propícios à proteção contra predadores, reprodução, desova e crescimento de diversas espécies marinhas ou de água doce, além de permitir o abrigo de numerosas espécies terrestres na vegetação, sendo considerado um importante transformador de nutrientes em matéria orgânica, gerador de bens e serviços (QUINONES, 2000; AFFE *et al.*, 2018).

Para a população humana, manguezais são favoráveis à instalação de portos e expansão de cidades, tendo como consequência desmatamento, aterramento, eutrofização, entrada de elementos estranhos no sistema (poluição química e orgânica, invasão por espécies exóticas) e impactos de outras naturezas (MACINTOSH; ASHTON, 2005), como as salinas, em que se encontram em áreas próximas do mar justamente para viabilizar a captação das águas marinhas (SANTOS; LEITE, 2011). Há casos em que dentro da propriedade das salinas há ainda vestígios de mangue suprimidos pela construção de canais de escoamento de água do mar.

O corte da vegetação de mangue além de destruir a flora, expõe o solo ao sol, provocando a evaporação mais rápida da água e, conseqüentemente, a salinização do substrato (ALVES, 2001), onde por consequência da variação de salinidade podem ocasionar processos de sucessão na composição de seus bosques, e onde as espécies mais tolerantes têm maior vantagem sobre as demais (ELLISON, 1993).

Diante do exposto, verifica-se que o manguezal está entre os ecossistemas que vêm sofrendo várias pressões advindas do aumento populacional e desenvolvimento industrial e urbano, como apontado por Chen *et al.* (2009), o que leva a diminuição e a fragmentação dos bosques de manguezal, comprometendo a sobrevivência de diversos organismos, uma vez que ações tensoras induzidas pelo homem, somados às causas naturais, atuam sobre o ambiente, interferindo tanto nas características estruturais como como na diversidade funcional deste ecossistema (SOARES *et al.*, 2003; CARVALHO; JARDIM, 2017).

Há o consenso que as áreas de manguezais estão diminuindo consideravelmente (MMA, 2010), sendo preciso estudos que fomentem e sirvam de parâmetros para diversos estudos acerca da ocorrência, estrutura e perfil destas áreas de tão expressiva importância, como pontuado em parágrafos anteriores.

Apesar dos manguezais serem considerados Áreas de Proteção Permanente pela Lei Federal 4771/65, ainda são bastante intensas as atividades antrópicas. Assim, os estudos sobre a estrutura dos manguezais representam um instrumento importante para o entendimento da

relação das espécies de mangue com ambiente local, bem como auxiliar nas ações para à conservação deste ecossistema (SOARES, 1999; MADI *et al.*, 2016).

No Brasil, os manguezais recobrem área estimada de 25.000 km<sup>2</sup>, distribuídos em 7.408 km<sup>2</sup> de linha costeira do país (FERNANDES, 2012), desde o Rio Oiapoque, no Amapá, até Laguna em Santa Catarina (MMA, 2010). Para a costa do nordeste do Brasil, Maia *et al.* (2005) reconheceram cinco ecorregiões, das quais a que apresenta maior estatura de seus indivíduos e maior proporção (78-83%) é a da costa norte quaternária, que inclui os estados do Amapá, Para, Maranhão e região ocidental do Piauí. Estima-se que o Maranhão sozinho contenha 36-49% da área total de manguezal brasileiro (KJERFVE; LACERDA, 1993), mas estimativas mais recentes registram que cerca de 80% dos manguezais em território brasileiro estão distribuídos em três estados: Maranhão (36%), Pará (28%) e Amapá (16%), embora existem pressões causadas pela expansão urbana e ações antrópicas como a carcinicultura e salinas (ICMBio, 2018).

Na costa brasileira, de modo geral, os manguezais apresentam solos limosos de regiões estuarinas, instáveis, lamacentos, ricos em matéria orgânica, sujeito as inundações periódicas e dispersão descontínua (FERNANDES, 2012). Estão registradas 31 famílias, 67 gêneros e 93 espécies vegetais distribuídas em diversos grupos botânicos. As espécies arbóreas, no total de sete, estão distribuídas em três famílias: Acanthaceae (*Avicennia germinans* (L.) L. e *A. schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke), Combretaceae (*Conocarpus erectus* L. e *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn) e Rhizophoraceae (*Rhizophora harrisonii* Leechm., *R. mangle* L. e *R. racemosa* G. Mey.) (ICMBio, 2018).

Bernini e Rezende (2010) comentaram que a heterogeneidade de um ambiente parece ser uma resposta à influência mútua de vários fatores abióticos (salinidade) e ações antrópicas que agem em diferentes escalas espaciais e temporais. Tanto o componente arbóreo conservado quanto os em regeneração, sendo representados por plântulas e indivíduos jovens, podem apresentar respostas aos diferentes fatores abióticos. Esses interagem para definir a ocorrência de indivíduos no componente arbóreo, refletindo na distribuição das espécies (KATHIRESAN; BINGHAM, 2001; MADI *et al.*, 2016).

Os manguezais no Estado do Maranhão ainda não apresentam alto grau de degradação como ocorre em outros estados brasileiros. Neste sentido, levando em consideração a importância nacional e até internacional dos manguezais no Maranhão, é de suma importância desenvolver uma base melhor fundamentada de conhecimento deste ecossistema na região. As pesquisas realizadas em áreas de manguezais deste Estado têm focado a região da Baía de São Marcos ao redor do capital São Luís, e o Delta do Parnaíba, que representa a principal área de

mangue da porção leste do litoral norte brasileiro. Estes trabalhos tratam de uma gama de temas descritivos, qualitativos e quantitativos, desde geografia, geomorfologia, avaliação de recursos naturais, impactos ambientais antrópicos, conservação de ecossistemas, e mapeamento (FROIS-ABREU 1939; DAMÁZIO, 1980a e b; HONAISSER, 1993; MOCHEL, 1993; 2002; 2009; CAVALCANTI 2004; COSTA *et al.*, 2006; FONSECA; MOCHEL 2016).

De maior relevância para o presente estudo são os trabalhos ecológicos, fitossociológicos, sistemáticos, etnobotânicos e sobre impactos ambientais realizados sobre os manguezais da Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Parnaíba, que inclui a parte extremo-leste do litoral de Maranhão, o do Piauí inteiro e a parte extremo oeste do Ceará (FERNANDES *et al.*, 1996; MARCELINO *et al.*, 1999; NASCIMENTO 1999; DEUS 2000; NASCIMENTO; SASSI 2001; DEUS *et al.*, 2003; ARARIPE 2005; MAIA *et al.*, 2005; ARARIPE *et al.*, 2006; CASTRO 2007; CAVALCANTI *et al.*, 2007; ANDRADE *et al.*, 2012; MEIRELES 2012; ARAÚJO 2013; NASCIMENTO 2014; MEIRELES *et al.*, 2017; ARAUJO *et al.*, 2018; MEIRELES *et al.*, 2018).

Dos trabalhos citados acima, os que tratam de fitossociologia da área deltaica do Rio Parnaíba, *sensu stricto*, são os de Meireles (2016) que realizou o único estudo estritamente fitossociológico analítico até já realizado nos manguezais da área deltaica principal do Rio Parnaíba, na Ilha das Canárias no extremo nordeste do Maranhão; este estudo serviu para contextualizar a etnobotânica desta área, o principal foco deste pesquisador (MEIRELES 2012; MEIRELES *et al.*, 2017; MEIRELES *et al.*, 2018).

Deus (2000), Deus *et al.* (2003) e Araújo *et al.* (2018) também realizaram estudos fitossociológicos analíticos, mas na parte extremo sudeste da área deltaica no Piauí, focando a estrutura de uma área de manguezal em recuperação próximo ao Rio Igaragu, entre as cidades de Parnaíba e Luís Correia. Trabalhos mais gerais incluem o de Fernandes *et al.* (1996) que descreveram em termos gerais a ecologia vegetal e florística do litoral do Piauí, inclusive os manguezais; Castro (2007) que tratou da classificação geral da vegetação do Piauí e Andrade *et al.* (2012) cita espécies do ecossistema que apresentaram uma listagem ilustrada da flora do Delta do Parnaíba como um todo. Os outros trabalhos citados acima tratam principalmente dos impactos e do regulamento de atividades econômicas e industriais dentro da APA Delta do Parnaíba, mas fora da região deltaica do Rio Parnaíba onde se encontra a principal área de manguezal na região.

De acordo com Silva *et al.* (2019), o Delta do Parnaíba é um raro exemplo de um delta fluvial de maior porte ainda relativamente pouco influenciado por antropização; de acordo com o Atlas dos Manguezais do Brasil (ICMBio, 2018) este delta é "o único verdadeiro delta ativo

da costa brasileira". Por sua natureza, se trata de um sistema dinâmico, em processo contínuo de mudança, ou pela mudança de cursos fluviais provocada por assoreamento, ou pela translocação das extensões de mangue e vegetação dunar, ocasionada pelo movimento de dunas ativas através a paisagem (CAVALCANTI, 2004). A regeneração constante das florestas de mangue é, portanto, uma consequência natural destes processos, mudando também a proporção de floresta madura existente. Os impactos antrópicos intensificam e aceleram estes processos de mudança, mesmo quando não destroem a vegetação. Por isso, é de esperar que o manguezal consta de um mosaico de tipos de floresta mangal consequente tanto de processos naturais como de perturbação humana.

O ICMBio (2018) registrou que dos 307,595 ha da extensão da APA Delta do Parnaíba, 28, 878 ha (9.89%) consistem em manguezais, sendo a quinta maior unidade de conservação para manguezais do Brasil. A maior parte da floresta de mangue do Delta se situa no Estado de Maranhão, onde o ambiente é mais propício para seu desenvolvimento (Silva *et al.* 2019).

O Rio Parnaíba é o segundo maior da região Nordeste do Brasil (Silva *et al.* 2019) e o Delta se situa na costa setentrional no extremo leste do setor litoral chamado "macrotidal" por Magris & Barreto (2010), com extensão desde Amapá até a boca do Rio Parnaíba. De acordo com outras classificações do litoral brasileiro (veja Tabela MV1 no Apêndice), o Delta pertence a "Segment IV" de Schaeffer-Novelli *et al.* (1990), ou ao setor Norte Quaternário de Maia *et al.* (2005). Com uma área de aprox. 3.138 sq.km, o Delta é dominado pelos efeitos de marés do trabalho de ondas provocadas pelos ventos alísios do Nordeste, fatores resultando da sua posição geográfica e o clima predominante (Silva *et al.* 2019).

O clima é classificado pelo sistema de Köppen-Geiger como " Tropical-Savannah" (BECK *et al.*, 2018), com inverno quente e seco e verão chuvoso, temperatura média anual de 27.5°C (variando de 26.1°C a 32.9°C), e pluviosidade média anual de 1000 and 1600 mm/yr, caindo principalmente de janeiro até maio (NASCIMENTO *et al.* 2019). Os ventos e as chuvas variam de acordo com o deslocamento anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que traz chuva e ventos mais fracos quando está em posição meridional no verão, e cujo deslocamento para o norte a partir de junho resulta na retomada dos ventos alísios mais energéticos do Nordeste e na entrada da época seca (Guedes *et al.* 2017).

Ao leste da cidade de São Luís, o regime das marés é "mesotidal", com amplitude variando de 2 a 4 m (Guedes *et al.* 2017), e há uma deriva litoral predominantemente para o ocidente causada pela ação dos ventos e o Corrente do Norte do Brasil (Johns *et al.* 1998). Mais para o oeste, na costa de Maranhão ocidental e do Pará ao leste da Ilha do Marajó, a pluviosidade (aprox. 2.300 mm média anual) é maior e o regime das marés é "macrotidal" (4 a 7.5 m), mas

a região também sofre uma época seca bem definida de julho até dezembro (Menezes *et al.* 2008). Na área própria do Delta, a amplitude das marés é "mesotidal", de 1.7 a 3.1 m (Silva *et al.* 2019). De acordo com Schaeffer-Novelli *et al.* (2000), a combinação de alta precipitação ( $> 2000$  mm/yr), fortes correntes das marés e maiores amplitudes das marés ( $> 2$  m) resulta no desenvolvimento exuberante dos manguezais do litoral de Amapá, Pará e Maranhão. Entre a Baía de São José (São Luís) e a boca do Rio Parnaíba, formações arenosas lineares são mais comuns na costa, devido à deriva litoral para o oeste, e os manguezais desenvolvem atrás destas barreiras (Schaeffer-Novelli *et al.* 2000).

Silva *et al.* (2019) dividiram o Delta em setor oriental, composto de distributivos ativos (os Rios Parnaíba e Igarçu) e setor ocidental, consistindo em canais de marés remanescentes, e lagunas estuarinas, derivados de uma antiga mudança de distributivos ativos do oeste para leste. Aqui há a extensão maior de manguezal. O setor ocidental engloba a maior parte do Delta *sensu stricto* e corresponde à parte pertencente ao Estado de Maranhão. O setor oriental, no Piauí, é dominado por campos ativos e fixos de dunas e a área de manguezal é relativamente pequena. O Rio Parnaíba tem o maior papel em fornecendo sedimentos para o Delta, e é a deriva litoral para o oeste destes sedimentos que mantém a estabilidade da costa, em contrapartida da tendência de erosão do litoral no setor ocidental. No Leste a tendência é de progradação, e aumento da área do Delta, resultando do transporte de sedimentos do interior para o oceano. Na preamar, água turbida de sedimento entra os igarapés do setor ocidental e por sua vez sai com a baixa maré. (Silva *et al.* 2019).

O estudo de Silva *et al.* (2019) focou o período recente de 1972 a 2016, traçando uma séria de mudanças ao Delta durante este intervalo, mas a paleohistória do Delta do Parnaíba ainda não foi objeto de investigações específicas. Porém, mais para o oeste, Cohen *et al.* (2012) fizeram um estudo paleoambiental das florestas de mangue de Amazonia em Amapá e Pará, e estabeleceram que havia uma faixa maior de manguezal nesta região durante o Holoceno, devido à subida no nível do mar pós-glacial. Com a mudança para um clima mais úmido no Holoceno Superior, a descarga do Rio Amazonas aumentou, e a maior quantidade de água doce consequente produziu uma fragmentação da faixa, conduzindo para a redução da extensão da área de manguezal na região. Para o leste, Bezerra *et al.* (2003) estudaram mudanças Holocênicas do nível do mar na costa do Estado do Rio Grande do Norte, e mostraram que o nível atingiu seu máximo há aproximadamente 5000 anos.

Em comparação com outros sistemas deltaicos importantes, a bacia hidrográfica do Rio Parnaíba sofre de impactos industriais relativamente menores (Paula Filho *et al.* 2015). Porém, agricultura, pecuária e a emissão de detritos humanos não tratados produzem excessos

significantes de nitrogénio e fósforo no Delta, de 5 até 10 vezes maiores das emissões naturais destes nutrientes. O efeito destes impactos nos ecossistemas do Delta, com sua rica biodiversidade vegetal e animal, ainda resta a ser investigado em detalhe. Silva *et al.* (2019) já notaram que a grande barragem e reservatório de água localizados 700 km acima do Delta ainda não tiveram muito efeito em redução do fluxo de sedimentos para o Delta, provavelmente porque o reservatório captura somente 25% das águas da bacia do Parnaíba. Estes sedimentos continuam a fornecer o material para que o sistema deltaico se mantenha, tanto no setor oeste no Maranhão, como no Leste no Piauí. Os solos da região da Delta do Parnaíba foram estudados e classificados recentemente por Cabral *et al.* (2019).

Em visto do pequeno número de estudos prévios e a grande extensão de manguezal no Delta do Parnaíba, a presente investigação procurou aumentar o conhecimento da fitossociologia da região deltaica *sensu stricto* do Rio Parnaíba, até já conhecida em maior detalhe somente nas partes mais orientais de sua área. O objetivo com este estudo foi descrever quantitativamente a variação da composição e estrutura fundamentada numa amostragem diversa e englobando área amostral maior do que em estudos prévios, e para comparações futuras com outras áreas de manguezais.

O problema em estudo foi, portanto, obter perfis fitossociológicos detalhados de uma gama de feições diferentes do manguezal, para melhor representar sua diversidade fitossociológica, e ao mesmo tempo assegurar que cada descrição tem um fundamento de dados suficientes para análise estatística. A diversidade estrutural de manguezal é consequência de muitos fatores, tanto naturais como antrópicos (MEIRELES, 2016, ICMBio, 2018).

Com este estudo, se procurou, procurou comparar de áreas diferenciadas por três fatores, geografia, ecologia e níveis diferentes de impacto antrópico, no intuito de representar a diversidade do manguezal num modelo que, apesar de relativamente simples, poderia servir como ponto de partida para a estimativa do estoque de carbono representado por estas florestas. As seguintes hipóteses foram definidas para guiar o estudo: 1) as diferenças estruturais e florísticas entre áreas conservadas de mangue com perfis geográficos e ecológicos diferenciados são menores que diferenças entre áreas em regeneração após desmatamento e as que não sofreram impactos antrópicos de nível significativo 2) A biomassa representada por manguezais difere significativamente entre áreas em regeneração e áreas maduras.

O estudo também procurou responder aos seguintes questionamentos: 1) Quais as características fitossociológicas dos bosques de manguezal nessas áreas? 2) Manguezais em regeneração impactados por ação humana são quantitativamente diferenciáveis dos que não foram perturbados em proporção inversa ao tempo passado desde a perturbação? 3) A estrutura

das áreas de mangue próximo ao tabuleiro terciário (Água Doce do Maranhão) difere estruturalmente de mangues situados mais distantes e próximos ao oceano (Araioses)?

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### ***Autorizações***

Para este estudo teve o parecer do Sistema de Autorização e Informação da Biodiversidade (SISBIO) do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio (Nº 61641). Submeteu-se ainda ao Patrimônio Genético/CTA sob o nº AE57515 no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), em atendimento ao previsto na Lei de nº 13.123/2015.

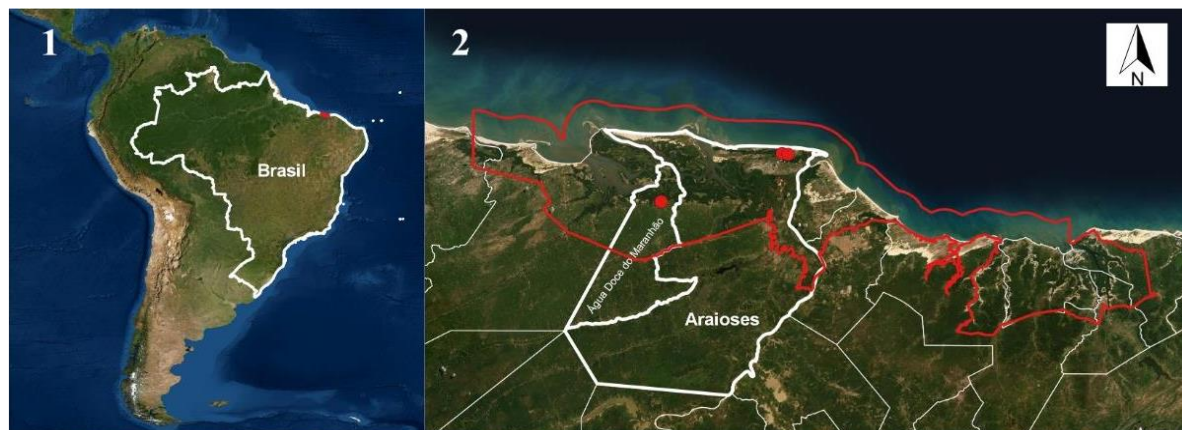
### ***Área de estudo: contexto geral***

Os manguezais estudados neste trabalho pertencem a dois municípios, Água Doce do Maranhão e Araioses (Fig. 1), inseridos na Mesorregião Leste Maranhense, dentro da Microrregião do Baixo Parnaíba Maranhense: (IBGE, 2010; CORREIA FILHO, 2011a, 2011b).

A elevação nestas áreas é de seis metros acima do nível do mar e a variação térmica entre 22,7°C e 31,6°C (CORREIA FILHO, 2011b). Limita-se ao Norte com o oceano atlântico, a Leste com o rio Parnaíba, ao Sul com os municípios de Magalhães de Almeida e São Bernardo; a oeste com Tutóia (CORREIA FILHO, 2011b). Ao Sul, ambos os municípios limitam se com Santana do Maranhão e São Bernardo (CORREIA FILHO, 2011a).



Figura 1 - Contexto geral das quatro áreas estudadas dos municípios de Araiões e Água Doce do Maranhão, estado do Maranhão, na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil, utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS (2000), ICMbio e IBGE (2019): 1- América do Sul com destaque para o Brasil, em branco; 2 – Municípios de Água Doce do Maranhão a esquerda e Araiões, á Direita, em vermelho a delimitação da APA Delta do Parnaíba; em vermelho estão os pontos correspondendo as quatro áreas em seus respectivos municípios.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Os solos incluem gleissolos, neossolos flúvicos e neossolos quartzarênicos devido à invasão de dunas (EMBRAPA, 2006). Solos de mangue são formados pelo depósito de silte, areia e material coloidal trazido pelos rios. O clima é tropical, subúmido com dois períodos sazonais: um chuvoso de janeiro a junho com médias mensais de pluviosidade superiores a 224 mm, e outro seco de junho a dezembro. A vegetação está representada pelo complexo vegetacional da zona litorânea restinga, dunas e mangues (CORREIA FILHO, 2011a).

Duas localidades com características geográficas e ecológicas diferentes foram selecionadas (Figs. 2 e 3; Tab. 1), e em cada localidade duas áreas foram definidas, uma em regeneração após desmatamento para produção de sal (salina), e outra que não sofreu impactos antrópicos de nível significativo, no total de quatro áreas.

Figura 2 - Contexto da parte mais ocidental da APA do Delta do Parnaíba, mostrando Áreas de estudo (A, B, C, D), locais de outros estudos e indicando áreas urbanas e tipos de paisagens relevantes. Imagem do fundo de Google Earth Pro (2021).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 3 - Contexto maranhense das áreas de coletas em escala maior, mostrando o contraste entre fisionomias de mangue e dunas ativas e fixas, o continente terciário da região, e os limites municipais, Maranhão, Nordeste do Brasil. Figura feita utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS (2000), e imagem do satélite Landsat 8 do ano de 2020. Em vermelho estão os pontos correspondendo as quatro áreas em seus respectivos municípios (veja Figuras em seguida para mais detalhes).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Tabela 1 - Características das quatro áreas estudadas no Delta do Parnaíba maranhense, Brasil.

Município	Área	Nome das áreas	Status de antropização	Latitude	Longitude	Características ecológicas	Impactos antrópicos
Água Doce do Maranhão	A	Ilha do Mangueirão	Conservado	02 <sup>o</sup> 49' 55.1"S	42 <sup>o</sup> 07' 12.1"O	Pouca influência das marés; escoamento de água doce do continente na época chuvosa	Próximo ao centro urbano; cata do caranguejo
	B	Ilhazinha (Salina)	Em regeneração por ca. 50 anos	02 <sup>o</sup> 49' 53.5" S	42 <sup>o</sup> 07' 06.0" O	Forte influência das marés	Próximo a centro urbano; antiga salina
Araioses	C	Ilha das Barreiras	Em regeneração por ca. 25 anos	02 <sup>o</sup> 44' 02.7''S	41 <sup>o</sup> 52' 45.6'' O	Influência das marés	Longe de centro urbano; extração de madeira; antiga salina
	D	Ilha dos Poldros	Conservado	02 <sup>o</sup> 44' 08.8''S	41 <sup>o</sup> 52' 03.5''O	Forte influência das marés; Assoreamento por bancos de dunas adjacentes	Longe de centro urbano; sem sinais de extração de madeira

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A primeira localidade fica ao longo do Rio Água Doce, dentro da metade ocidental do Delta, a pouca distância da sede do município de Água Doce do Maranhão, e faz parte de uma área de manguezal apenas 500 m do tabuleiro terciário sobre o qual a cidade se situa, na borda meridional da área deltaica. Devido esta posição, sofre um fluxo apreciável de água doce na época chuvosa oriundo do escoamento do continente para o mar. Em compensação, porém, a ação sobre a floresta do fluxo das marés fica amenizada, por estar localizada ao longo do trecho mais alto e sinuoso do rio, situado entre 14 e 19 km longe do mar. Esta situação dá a expectativa de menor fluxo de água salgada e conseqüentemente maior salinidade durante a época seca. Sendo próximo a um centro urbano local pode também ser considerado um local que experimenta maior interferência humana.

A segunda localidade se encontra no município de Araioses, ao longo do Rio dos Poldros, entre 14 e 16 km da borda do tabuleiro terciário, e menos de 2 km da praia do oceano em linha reta, mas 15 km da desembocadura do rio para o mar devido ao seu desvio para o oeste causado por uma faixa estreita de dunas ativas ao longo da praia. A sua posição mais longe do continente terciário sugere uma influência mais forte do fluxo das marés durante o ano. Esta área, estando mais longe de centros de população humana, parece sofrer menor interferência antrópica.

Ambas as áreas são consideradas “florestas ribeirinhas” conforme preconizado por Lugo e Snedaker (1974) e estão situadas dentro do limite da Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba (ICMBio 2020) (Fig. 1.2).

O trabalho de campo foi realizado entre fevereiro de 2017 a outubro de 2020, no total de 21 expedições, com duração média de cinco dias em cada área amostrada nas quatro áreas identificadas.

### Os bosques de mangue Áreas A e B ao longo do Rio Água Doce

As áreas que pertencem ao município de Água Doce do Maranhão foram denominadas A e B (Fig. 4) e são muito próximas à sede do município.

Área A (Água Doce - conservada – conhecida como Ilha do Mangueirão) é localizada próxima à sede da cidade, embora mantenha sua estrutura arbórea conservada, tendo como coordenadas  $02^{\circ} 49' 55.1''S$ ;  $42^{\circ} 07' 12.1''O$ . Esta área apresenta impactos diretamente ligados à cata do caranguejo e sofre pouca influência de inundações (Fig. 5).

Figura 4 - Áreas correspondente ao Município de Água Doce do Maranhão. A: Área Conservada. B: Área em regeneração (salina desativada). Parcelas amostradas indicados como quadrados brancos recheios (10 x 10 m) nas grades estabelecidas (100 x 120 m) para cada área no campo. Parcelas na mesma escala da imagem do fundo (Google Earth Pro 2021).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 5 - Fisionomia da vegetação da Área A, bosque de mangue conservado no município de Água Doce de Maranhão, Maranhão, localizado próximo ao tabuleiro terciário do continente e à cidade de Água Doce de Maranhão.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Área B (Água Doce – em regeneração) é conhecida por ser uma antiga salina desativada por aproximadamente 5 anos, de acordo com populares, e encontra-se próxima a comunidade ( $02^{\circ} 49' 53.5'' S / 42^{\circ} 07' 06.0'' O$ ), além de ser fortemente gerida pelos regimes das marés através do Rio Água Doce e pelos igarapés adjacentes (Fig. 6).

Figura 6 - Fisionomia da vegetação da Área B, bosque de mangue no município de Água Doce de Maranhão, Maranhão, antiga salina em processo de regeneração durante aproximadamente 50 anos. Localizado próximo ao tabuleiro terciário do continente e à cidade de Água Doce de Maranhão.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

### Os bosques de mangue Áreas C e D ao longo do Rio dos Poldros

As duas áreas, que pertencem ao município de Araiões, são situadas na parte mais setentrional do curso do Rio dos Poldros, que separa a Ilha dos Poldros no leste da Ilha das Canárias ao oeste (Fig. 7).

Figura 7 - Áreas pertencentes ao Município de Araiões no seu contexto mais geral. C: Área em regeneração (Barreiras, salina desativada). D: Área Conservada (Ilha dos Poldros). Áreas de floresta de mangue são de verde mais escuro. Notável é o assoreamento progressivo do Rio dos Poldros pelo campo de dunas e as áreas de mangue morto a leste da Área D. Imagem de base do Google Earth Pro (2021).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Área C (Ilha das Barreiras – em regeneração) (coordenadas  $02^{\circ} 44' 02.7''S$ ;  $41^{\circ} 52' 45.6''$ ) sofreu impactos da exploração de madeira, escavação para extração de sal (em torno de 26 anos antes, de acordo com relatos de moradores), e foi área pertencente a uma salina desativada há cerca de 23 anos. Esta área sofre frequente influência de inundações advindas do Rio dos Poldros e igarapés adjacentes (Figs. 8, 9).

Figura 8 - Área C (Barreiras, salina desativada) pertencente ao Município de Araíoses, mostrando local das parcelas. Parcelas amostradas indicados como quadrados brancos recheios (10 x 10 m) nas grades estabelecidas (100 x 120 m) para cada área no campo. Parcelas na mesma escala da imagem do fundo (Google Earth Pro 2021).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)



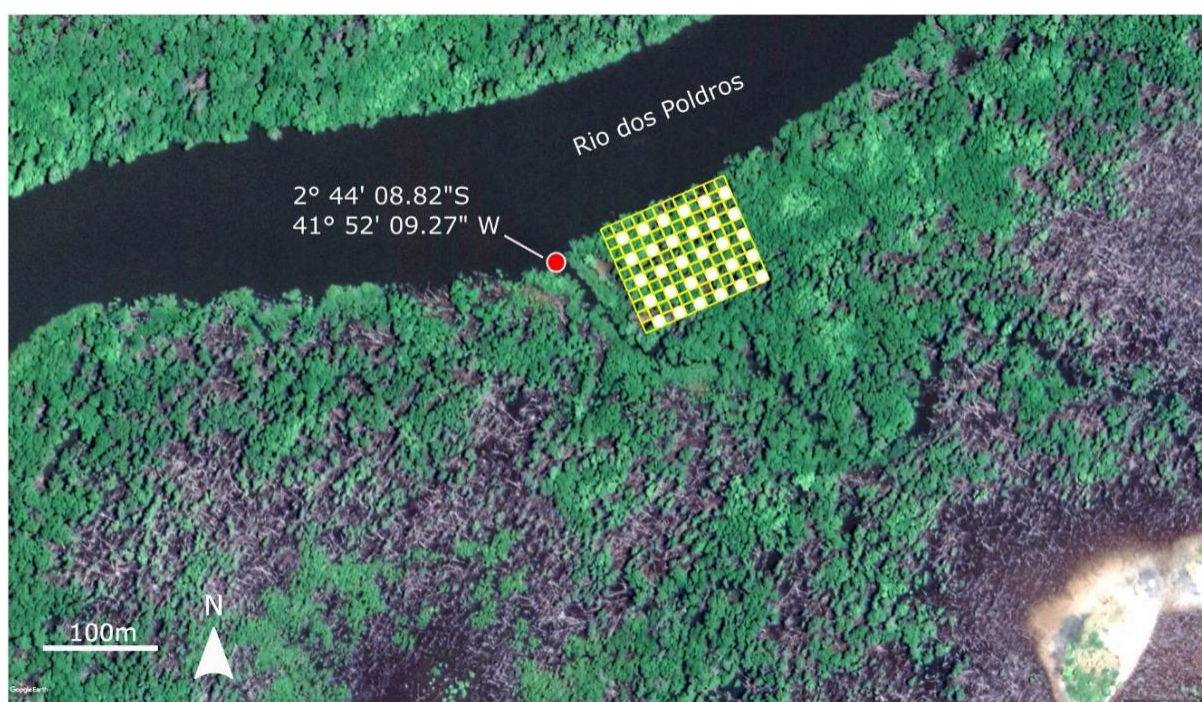
Figura 9 - Fisionomia da vegetação da Área C, bosque de mangue no município de Araiões, Maranhão, Ilha das Barreiras; antiga salina em processo de regeneração durante aproximadamente 25 anos. Localizado próximo à linha da costa.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Área D (Ilha dos Poldros – conservada) encontra-se afastada da comunidade (coordenadas  $02^{\circ} 44'08.8''\text{S}$ / $41^{\circ} 52' 03.5''\text{O}$ ), sem sinais de exploração ou extração de madeira. Como pode ser visto nas Figuras 7 e 10, há extensas áreas de árvores mortas nesta ilha, que podem ser o resultado do assoreamento causado por bancos de dunas adjacentes. Área D é fortemente influenciada pelos regimes de alagamento acarretados pelo fluxo das marés do rio Poldros (Figs. 10, 11).

Figura 10 - Área D (Ilha dos Poldros) pertencente ao Município de Araiões, mostrando local das parcelas, com áreas (cinzas) entremeadas de floresta morta. Parcelas amostradas indicadas como quadrados brancos recheios (10 x 10 m) nas grades estabelecidas (100 x 120 m) para cada área no campo. Parcelas na mesma escala da imagem do fundo (Google Earth Pro 2021).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 11 - Fisionomia da vegetação da Área D, bosque de mangue no município de Araiões, Maranhão, na Ilha dos Poldros; área conservada de floresta alta, com as árvores maiores de *Rhizophora mangle* atingindo alturas excedendo 40 m. Localizado próximo à linha da costa.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

### ***Dados para perfil climatológico***

Para o perfil climatológico foram compilados dados de séries históricas mensais de precipitação no período de 1998 a 2017 (20 anos). Entretanto, visto que estas áreas não dispõem de estações meteorológicas, os dados foram obtidos das Estações Meteorológicas de Parnaíba (241001 e 241002) (INMET, 2020), por ser a estação mais próxima às áreas de estudos. Comparou-se ainda dados de precipitação no período de julho de 2017 a junho de 2018, perfazendo o total de 12 meses, sendo comparados aos dados já publicados por Nascimento *et al.* (2019) para o município de Parnaíba (Em anexo, ao final desta tese).

### ***Estudo fitossociológico estrutural dos bosques de mangue***

Para o estudo fitossociológico utilizou-se o método de parcelas múltiplas (SCHAEFFER-NOVELLI, *et al.* 2015) para as quatro áreas. A metodologia foi adotada e adaptada a partir de trabalhos que abordaram bosques de mangue (SILVA, 2007; MADI *et al.*, 2016). Em cada área, foi marcada uma grade de 120 parcelas (12 × 10 parcelas), cada parcela medindo 10 × 10 m (FELFILI *et al.*, 2011). Dentro de cada grade, 30 parcelas das fileiras e colunas foram selecionadas para amostragem, de forma que cada parcela se distou 10 m de cada outra, em distribuição regular por cada área, somando a 120 parcelas para as quatro áreas, e perfazendo uma amostragem total de 1,2 ha (Figs. 4, 8, 10).

As parcelas foram delimitadas com auxílio de canos de PVC e fitas zebradas. A coleta de dados seguiu em geral a metodologia de Moro e Martins (2011). O critério de inclusão foi de medir todos os indivíduos arbóreos com altura igual ou superior a 1,30 m. Os Dados foram registrados manualmente em fichas de coleta de campo. Para cada árvore, a circunferência na altura do peito (CAP) e a circunferência de base (CB) foram medidas usando fita métrica. Em *Rhizophora mangle* L., as circunferências foram medidas acima da zona dos rizóforo (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). A circunferência de indivíduos que apresentaram bifurcação do tronco foi calculada como média das circunferências dos troncos individuais, relacionando-os como volume destas. As medições da altura (H) foram efetivadas com canos de PVC escaladas de 1 m para indivíduos de menor altura e para os demais utilizou-se estimativas, levando em consideração indivíduos caídos, derrubados naturalmente, e quando possível (devido a densidade da floresta) usando um telêmetro laser Nikon Forestry Pro. Os indivíduos foram marcados com tinta spray orgânica visando prevenir eventuais recontagens dos indivíduos.

### **Identificação das árvores (espécies)**

Amostras férteis foram coletadas e herborizadas seguindo Fidalgo e Bononi (1989). As coletas ocorreram no período de baixa-mar, segundo o preconizado por Kilka *et al.* (2010) quanto a áreas que sofrem influência diária da maré. As exsicatas foram incorporadas aos Herbários Graziela Barroso (TEPB), da Universidade Federal do Piauí (UFPI) e Herbário Delta do Parnaíba (HDELTA), da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr).

A identificação das espécies foi baseada em geral na chave publicada por Tomlinson (2016), para a qual, porém se necessita material em floração, especialmente no caso das espécies do gênero *Avicennia*. Devido à impossibilidade prática de obter tal material fértil para cada árvore amostrada, foi necessário ter recurso a identificação por caracteres vegetativas, utilizando-se o auxílio de especialistas locais, que determinam as espécies por nomes vernaculares, com base na sua ampla experiência de campo, usando caracteres morfológicos, tais como textura do caule, forma da folha e ocorrência local.

Os resultados do estudo morfométrico das folhas de *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* (NASCIMENTO *et al.*, 2021, e Manuscrito 1 desta tese) mostraram que há variação de uso de nomes vernaculares para estas duas espécies dependendo do local. Conseqüentemente, apesar de ter registrado as duas espécies ocorrendo nas áreas estudadas através de espécimes *vouchers* coletados em estado fértil, não foi possível verificar a identidade de cada indivíduo, amostrado no estudo fitossociológico. Portanto, para os fins das análises aqui apresentadas, os dados das árvores de *Avicennia* foram tratados como se representassem um único táxon. Opção parecida foi adotada por Fromard *et al.* (1998) quanto à dificuldade de distinguir duas espécies de *Rhizophora* em Guiana Francesa.

As outras espécies tratadas aqui não apresentaram tanta dificuldade em identificação a partir de material vegetativo. De forma complementar, foram feitas comparações em herbários regionais, como Herbário Graziela Barroso (TEPB) e Herbário Delta do Parnaíba (HDELTA). Os nomes dos táxons foram atualizados de acordo com Missouri Botanical Garden (TROPICOS, 2021), The New York Botanical Garden e Jardim Botânico do Rio de Janeiro (FLORA DO BRASIL 2020, 2021). A nomenclatura para as famílias botânicas seguiu APG IV (2016).

### **Coleta de solos para análise das variáveis físico-químicas**

Para análise e verificação das diferenças estruturais relacionadas a vegetação, realizou-se coletas de solo para averiguar as variáveis físico-químicas em ambiente lótico, no período de agosto de 2020 a novembro de 2020. Deste modo, foram coletadas quatro amostras de solo

advindas a partir da homogeneização de 15 amostras coletadas em cada uma das quatro áreas A, B, C e D. Para cada amostra coletada, levou-se em consideração ainda a profundidade das mesmas, sendo colhidas com o auxílio de um cavador, do tipo trado (T), nas camadas 0-20cm e 21-40cm de profundidade, seguindo distribuição em “Z” através a grade de parcelas, para uma melhor representatividade dentro das parcelas amostradas.

Para a realização das análises físicas e químicas, o solo foi submetido a secagem à sombra, em local ventilado e posterior ensacamento em sacolas plásticas e envio ao Laboratório da Análise de Solo da Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências agrárias, Departamento de Ciências de Solo, Laboratório de Solos/Água – *Campus Pici*, UFCE, onde foram seguidos os procedimentos preconizados por Silva (2009).

### Coleta de amostras da água do Rio Água Doce e do Rio dos Poldros

As coletas de água foram realizadas mensalmente no período de julho/2017 a junho/2018, em seis pontos, sendo três pontos no Rio Água Doce próximos às áreas A, B, e três pontos no Rio dos Poldros próximos às áreas C e D.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas e descrição dos pontos de coleta de água nos rios Água Doce e dos Poldros, Maranhão, Brasil.

Pontos	Rio dos Poldros	Latitude	Longitude
P1	Próximo à área de salina desativada	02° 44' 11,1" S	041° 52' 26,6" W
P2	À jusante da salina desativada	02° 43' 59,9" S	041° 51' 58,2" W
P3	Dentro da salina desativada	02° 44' 02,7" S	042° 52' 45,6" W
Pontos	Rio Água Doce	Latitude	Longitude
P1	Igarapé dentro da área de salina desativada	02° 49' 52,0" S	042° 07' 05,3" W
P2	Próximo à área de salina desativada	02° 49' 53,0" S	042° 07' 09,6" W
P3	À jusante da salina desativada	02° 50' 00,8" S	042° 07' 25,6" W

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Todas as amostras foram coletadas na subsuperfície da água, nos períodos de preamar e baixamar. As variáveis temperatura da água (TEMP), pH, salinidade (SAL) e condutividade elétrica (COND), foram determinadas *in situ* com medidores digitais apropriados. Para registrar a transparência da água (TRANSP) usou o disco de Secchi. O oxigênio dissolvido (OD) foi determinado (GOLTERMAN; CLYMO; OHNSTAD, 1978). Para as análises de nutrientes, a água foi coletada e transportada para o Laboratório de Ecologia Aquática da UFPI. Para análises de fósforo solúvel reativo (PRS) e nitrito (NO<sub>2</sub>) as amostras foram filtradas e analisadas segundo APHA (2012). As amostras não filtradas foram utilizadas para determinar a concentração de turbidez (TUR) e sólidos totais (SOL) na água, também se seguindo o mesmo

autor. A clorofila (CLA) foi determinada seguindo Jespersen e Christoffersen (1987) e Nush (1980).

### **Análise de dados**

Os dados químicos e físicos dos solos, e das variáveis limnológicas da água fluvial foram analisados usando o pacote PAST, versão 3.25 (HAMMER *et al.*, 2001; HAMMER; HARPER, 2006); foram realizadas Análises de Componentes Principais (PCA) e Análises Discriminantes (LDA).

### **Parâmetros fitossociológicos das quatro áreas**

Os dados foram tabulados no programa *Microsoft Excel* 2019, e posteriormente organizados em planilhas padronizadas para análise no programa FITOPAC 2.1.2 (SHEPHERD, 2012) e pelo sistema R (R CORE TEAM, 2021, versão 4.0.2) implementado por RStudio (RSTUDIO TEAM 2021, versão 1.2.5042). Foram calculados os valores de altura média (AM em m), diâmetro na altura do peito (DAP em cm, calculado a partir de circunferência na altura do peito, onde  $DAP = C / \pi$ , DAP = diâmetro, C = circunferência), área basal (AB,  $\text{cm}^2$ , onde  $AB = \pi \times r^2$ , onde  $r = C / (2 \times \pi)$ ), densidade absoluta (DA, indivíduos/ha), densidade relativa (DR, %), frequência absoluta (FA, %), frequência relativa (FR, %), dominância absoluta (DoA,  $\text{m}^2/\text{ha}$ ), dominância relativa (DoR, %), além do Índice do Valor de Importância (IVI, %) e Índice de Valor de Cobertura (IVC, %) (MORO; MARTINS, 2011).

Comparações entre áreas e as espécies foram realizadas utilizando o cálculo dos índices em linguagem de R, versão 4.0.2, com a função nos pacotes "vegan", "BiodiversityR", "Rcmdr", "vegan" (R CORE TEAM, 2021). Para comparações de altura e diâmetro utilizou-se os pacotes "car", "ggplot2" e "dplyr", todos disponíveis para versão utilizada. Foram calculados os seguintes índices: Índice de diversidade de Shannon (H') (SHANNON; WEAVER, 1949), Índice de Riqueza e Índice de Equabilidade (J) (PIELOU, 1966), bem como análise de similaridade por meio do índice de Jaccard relacionando a presença e ausência de espécies. Os testes realizados, usando funções disponíveis em R, foram ANOVA robusta, teste de Kruskal-Wallis, comparações múltiplas das categorias de área e espécie por meio do teste de Tukey, com argumento "Bootstrapping". O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para comparar os perfis de tamanho em altura e diâmetro entre as áreas e as espécies. Para a análise de agrupamento utilizou-se PAST versão 3.25, de acordo com o preconizado por Hammer *et al.* (2001) e Hammer e Harper (2006), onde foi gerado o dendrograma de similaridade. Para

calcular a biomassa de cada indivíduo, as seguintes equações alométricas de Fromard *et al.* (1998), na forma apresentada por Kauffman & Donato (2012), foram utilizadas:

$$\begin{aligned} \text{Avicennia spp.:} & \quad \text{biomassa} = 0.14 \times \text{DAP}^{2.4} \\ \text{Conocarpus erectus:} & \quad \text{biomassa} = 0.1023 \times \text{DAP}^{2.5} \\ \text{Laguncularia racemosa:} & \quad \text{biomassa} = 0.1023 \times \text{DAP}^{2.5} \\ \text{Rhizophora mangle:} & \quad \text{biomassa} = 0.1282 \times \text{DAP}^{2.6}, \end{aligned}$$

onde as unidades são: biomassa em kg/ha, DAP (diâmetro ao nível do peito) em cm.

Para *Rhizophora mangle*, uma das equações de Santos *et al.* (2017, Table 5 deles) foi também usada, isto é, aquela correspondendo à biomassa total utilizando somente DAP como variável:

$$\text{Rhizophora mangle:} \quad \text{Ln (biomassa)} = 5.534244 + 2.404770 \times \text{Ln (DAP)},$$

quando transformado em antilogaritmo (usando função "exp" em R), o resultado desta equação se expressa em gramas, e para ser expresso em kg foi dividido por 1000.

### **Comparação da estrutura com os resultados de outros estudos, usando análises multivariadas.**

Valores estruturais do presente estudo foram comparados com os de 35 outras áreas estudadas ao longo da costa norte e leste da América do Sul, desde Guiana Francesa até Sergipe. Os 39 bosques de mangues foram incluídos em 11 estudos (inclusive o presente), relacionados em seguinte em ordem geográfica de norte ao sul (Fig. 12): Guiana Francesa (FROMARD *et al.* 1998), Pará - Bragança (ABREU *et al.* 2006, MATNI *et al.* 2006), Delta do Parnaíba - Maranhão (este estudo; MEIRELES, 2016), Delta do Parnaíba - PiauÍ (DEUS, 2000; DEUS *et al.*, 2003, ARAÚJO *et al.*, 2018), Ceará - Rio Pacoti (SOUZA; SAMPAIO, 2013), ParaÍba - Bucatu (ALVES *et al.*, 2013), Pernambuco - Recife (BARBOSA, 2010), Pernambuco - Suape (SOUZA; SAMPAIO, 2001), Sergipe - Rio São Francisco (SANTOS, 2013).



Figura 12 - Localização dos onze estudos incluídos na comparação multivariada de 39 bosques de mangue. Veja texto para maiores detalhes.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

As Variáveis quantitativas que foram selecionadas que ofereceram a possibilidade de comparação entre os variados estudos. As medidas relacionadas ao bosque inteiro sem considerar diferenças entre espécies foram: densidade absoluta (DA, indivíduos/ha), dominância absoluta (DoA, m<sup>2</sup>/ha), diâmetro médio (DAP, cm), diâmetro máximo (cm), altura média (AM, m), altura máxima (m). Medidas relacionadas à comparação das contribuições das espécies foram: densidade relativa (DR, %), e dominância relativa (DoR, %). Apenas três taxa foram consideradas, *Avicennia* spp., *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*. A maioria de estudos registraram a presença ou de *Avicennia germinans* ou de *A. schaueriana* ou ambas, mas pela razão dada previamente, foi necessário juntar os dados das suas espécies de *Avicennia* para poder comparar os valores dos outros estudos com os nossos, com maior consistência (veja FROMARD *et al.* 1998, que adotaram o mesmo procedimento no caso de *Rhizophora mangle* e *R. racemosa* em trabalhos de estrutura na Guiana Francesa). Alguns estudos registraram também outras espécies nos bosques, mas nesta análise se focou na importância relativa destes três taxa, sendo elas sempre as da maior importância na vegetação de mangue.

Os bosques foram também indexados pelas categorias de três classificações diferentes da costa brasileira (Tabela 2, veja Apêndice), que a dividem de forma diferente em seções distintas, baseadas e, características de clima, geologia, geomorfologia ou de marés. Os bosques de Guiana Francesa foram adicionados como categoria própria. Schaeffer-Novelli *et al.* (1990)

classificaram as florestas de mangue do Brasil em oito classes, das quais apenas três foram utilizadas aqui: Segment III (Ponta Curuçá (00°36'S) a Ponta Mangues Secos (02°15'S); Segment IV (Ponta Mangues Secos (02°15'S) a Cabo Calcanhar (05°08'S); e Segment V (Cabo Calcanhar (05°08'S) a Recôncavo Baiano (13°00'S). Maia *et al.* (2005) dividiram a costa brasileira em quatro setores, dos quais três foram usados aqui: Costa Norte Quaternária (Amapá ao Delta do Rio Parnaíba, inclusive a costa piauiense), Costa Nordeste Semiárida (Camocim no Ceará até a Ilha do Itamaracá em Pernambuco), e a Costa Nordeste-Leste Úmida (Ilha do Itamaracá até a Baía de Guanabara no Rio de Janeiro). Magris and Barreto (2010) dividiram a costa brasileira em três segmentos de acordo com o tamanho das marés, dois dos quais foram usados: Macrotidal (Cabo Orange a boca do Rio Parnaíba); e Mesotidal (boca do Rio Parnaíba até Bahia meridional a 15°S). Além disso, uma classificação de estado de conservação dos bosques foi também empregada, cumprindo três categorias: conservado (sem evidências claras de impactos antropogênicos); extração (floresta explorada de várias maneiras, mas sem desmatamentos apreciáveis); regenerando (floresta em regeneração após ter sofrido desmatamento em larga escala no passado).

Os dados foram analisados em três etapas: imputação de dados ausentes; estimação da categorização mais consistente dos bosques; e computação dos eixos que capturam melhor a variação global dos dados (análise dos componentes principais). Em dois casos de diâmetro máximo, o trabalho publicado não reportou valores (BARBOSA, 2010), e valores foram imputados para estes casos utilizando o pacote *missForest*, um método não paramétrico usando o algoritmo "random forest" (STEKHOVEN, 2013).

Após imputação, o conjunto de dados resultante foi analisado em R usando a abordagem de classificação "k-nearest neighbour" (KNN) com validação cruzada (função *knn.cv*, RIPLEY, 2021). A vantagem de KNN é que não depende de pressuposições como distribuição normal das variáveis e homogeneidade das matrizes de covariância. Quatro análises KNN diferentes foram realizadas, cada uma usando uma das classificações de bosque de mangue descritas acima como fator categórico. A classificação que resultou na proporção menor de atribuições erradas foi selecionada para as análises posteriores.

Análise de componentes principais (PCA) foi então realizada usando o pacote estatística PAST (HAMMER *et al.*, 2001, versão 3.16). Os dados foram escalonados antes de ser analisados, i.e. para cada variável (coluna), o médio da coluna foi subtraído de cada valor, e o resultado dividido pelo desvio padrão da coluna.

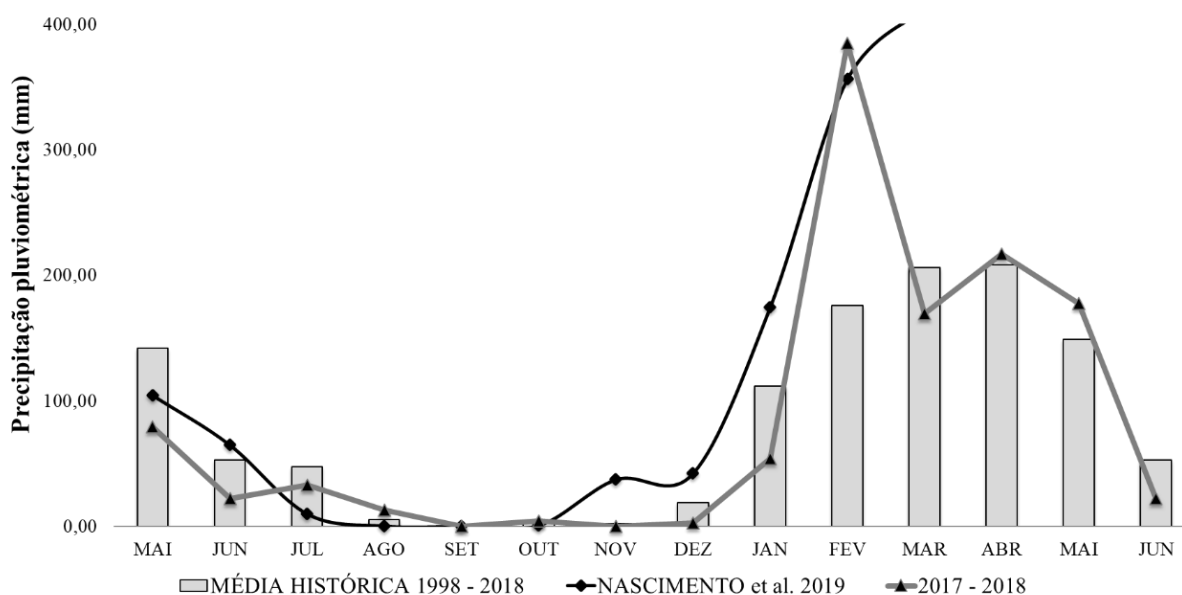
## RESULTADOS

### Características ambientais e classificação de manguezais

#### Climatologia

As médias mensais históricas de precipitação estimadas de um período de registro de 20 anos (1998-2018) demonstram que os meses de abril (208,07 mm.ano<sup>-1</sup>) e março (206,02 mm.ano<sup>-1</sup>) foram os meses que apresentaram maiores índices de precipitação e os de setembro, outubro e novembro foram os que apresentaram os menores volumes de precipitação 1,09 mm.ano<sup>-1</sup>, 3,52 mm.ano<sup>-1</sup> e 1,87 mm.ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 13). Os meses de julho/2017 a junho/2018 apresentaram um perfil climatológico típico para região, caracterizado dois períodos bem definidos na região, seco (junho a dezembro) e chuvoso (janeiro a maio), porém com maior índice de precipitação no mês de fevereiro (384,6 mm).

Figura 13 - Médias históricas de precipitação (mm) ao longo dos meses de janeiro a dezembro, durante o período de 1998- 2018 para a região da APA Delta do Parnaíba.



Fonte - Dados da pesquisa (2021)

#### Composição e características estruturais das espécies da vegetação de mangue

Foram registrados 2.636 indivíduos arbóreos, distribuídos em três famílias, quatro gêneros e cinco espécies (Tabela 14, veja Apêndice): *Laguncularia racemosa* (1276 indivíduos, 48,41%, *Combretaceae*), *Rhizophora mangle* (925 indivíduos, 35,09%, *Rhizophoraceae*), *Avicennia schaueriana* (264 indivíduos, 10,01%, *Acanthaceae*), *Avicennia germinans* (161 indivíduos, 6,11%, *Acanthaceae*) e *Conocarpus erectus* (10 indivíduos, 0,38%, *Combretaceae*) (Tabela 3), numa área de 1,2 ha distribuídos ao longo das quatro áreas, sendo 0,3 ha por área.

No município de Água Doce do Maranhão (A e B), o número de indivíduos e espécies foram equivalentes, enquanto em Araiões, a área C (salina desativada) apresentou número maior de indivíduos (2.164) distribuídos em cinco espécies (Fig. 14), sendo uma delas *Conocarpus erectus* L., uma espécie restrita a poucas regiões (MEIRELES, 2012; ARAÚJO, 2013). A área D, por sua vez, apresentou-se em quase sua totalidade monoespecífica, totalizando 158 indivíduos de *R. mangle* e apenas três indivíduos de *Laguncularia racemosa* (Tabela 3).

Tabela 3 - Registro florístico das espécies ocorrentes nas áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão.

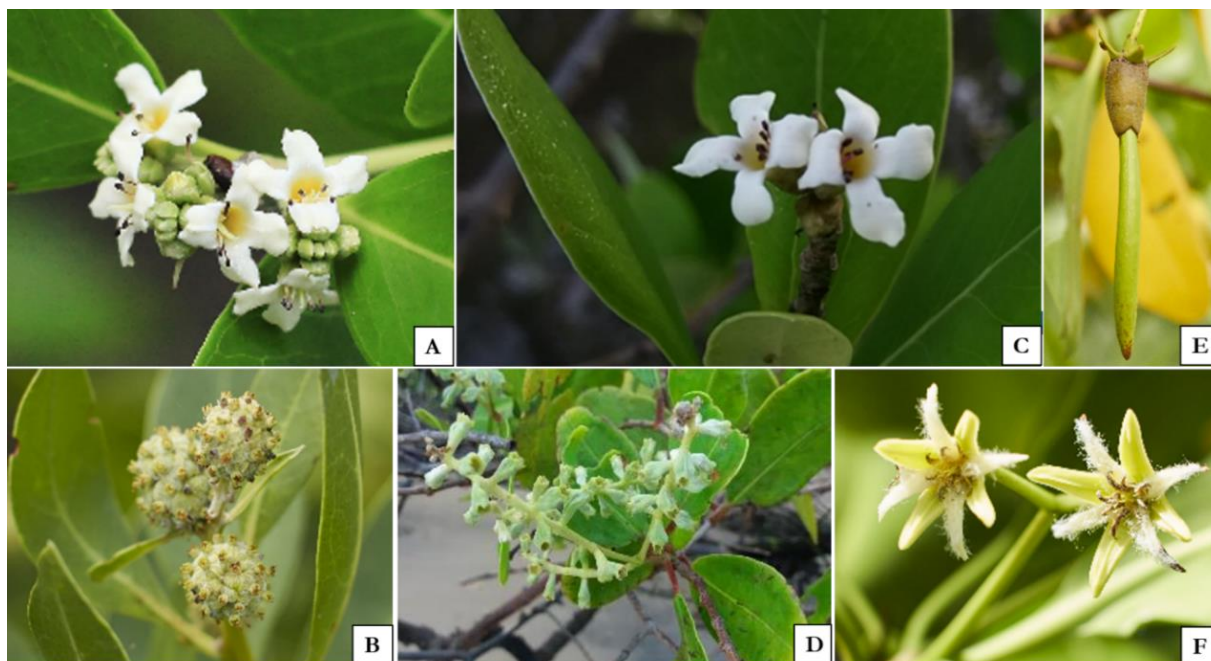
Famílias	Espécies	Siglas	Áreas				N total de indivíduos
			A	B	C	D	
Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i> (L) Stearn*	avgerm	4	3	154	0	161
	<i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechm. ex Moldenke*	avschau	4	15	245	0	264
Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i> L.	conoerec	0	0	10	0	10
	<i>Laguncularia racemosa</i> C. F. Gaertn	lagrac	0	0	1273	3	1276
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i> L.	rhizman	137	148	482	158	925
<b>Total</b>			145	166	2164	161	2.636

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

\* As duas espécies *Avicennia* foram tratadas como um único táxon na análise fitossociológica; veja comentários no Material e Métodos.

Utilizando-se de taxonomia tradicional e estudos morfométricos, os indivíduos com nomes populares siriba branca e siriba preta foram determinados, sendo *Avicennia schaueriana* um novo registro para a região da APA Delta do Rio Parnaíba (NASCIMENTO *et al.*, 2021). Tomlinson (2016: 204) distinguiu *A. schaueriana* de *A. germinans*, como tendo a corola glabra na superfície interna e apenas levemente zigomórfica, os estames inclusos e de comprimento igual.

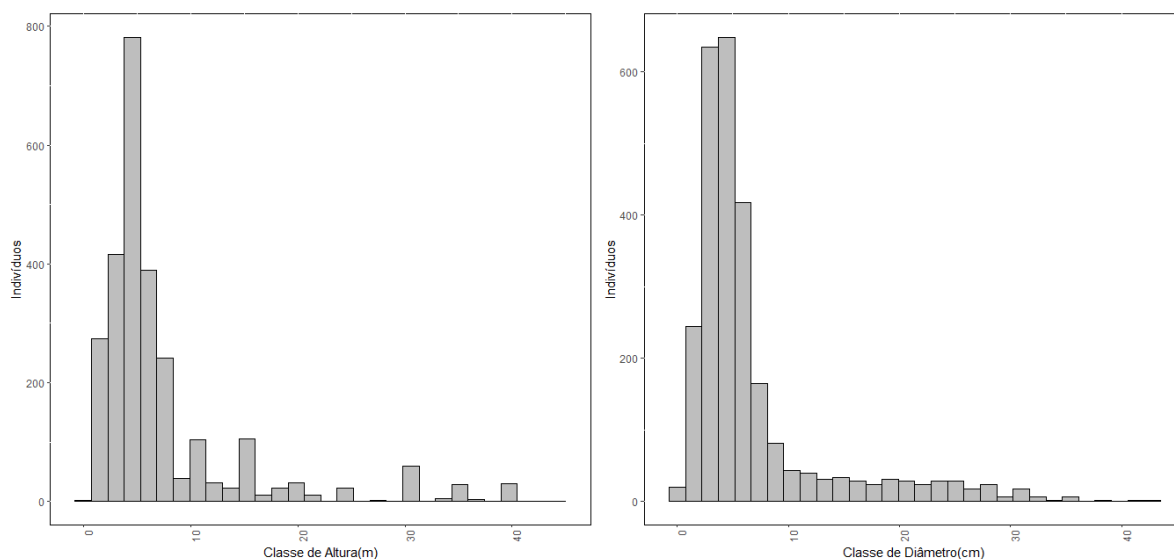
Figura 14 - Espécies arbóreas ocorrentes nas áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão. A - *A. germinans*; B- *Conocarpus erectus*; C - *A. schaueriana*; D - *Laguncularia racemosa*; E - F - *Rhizophora mangle*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A maior concentração vertical de indivíduos foi registrada nas primeiras classes de altura e de diâmetro, estando mais da metade dos indivíduos na classe de menores valores (0 a 10 m), decrescendo com o aumento das classes (Fig. 15). A frequência de indivíduos pertencentes à categoria DAP de 1 a 10 cm foi a mais alta. Essa distribuição inversa em forma de “j” é característica de uma estrutura com DAP equilibrada, com densidade máxima e depois declinando à medida que o DAP aumenta.

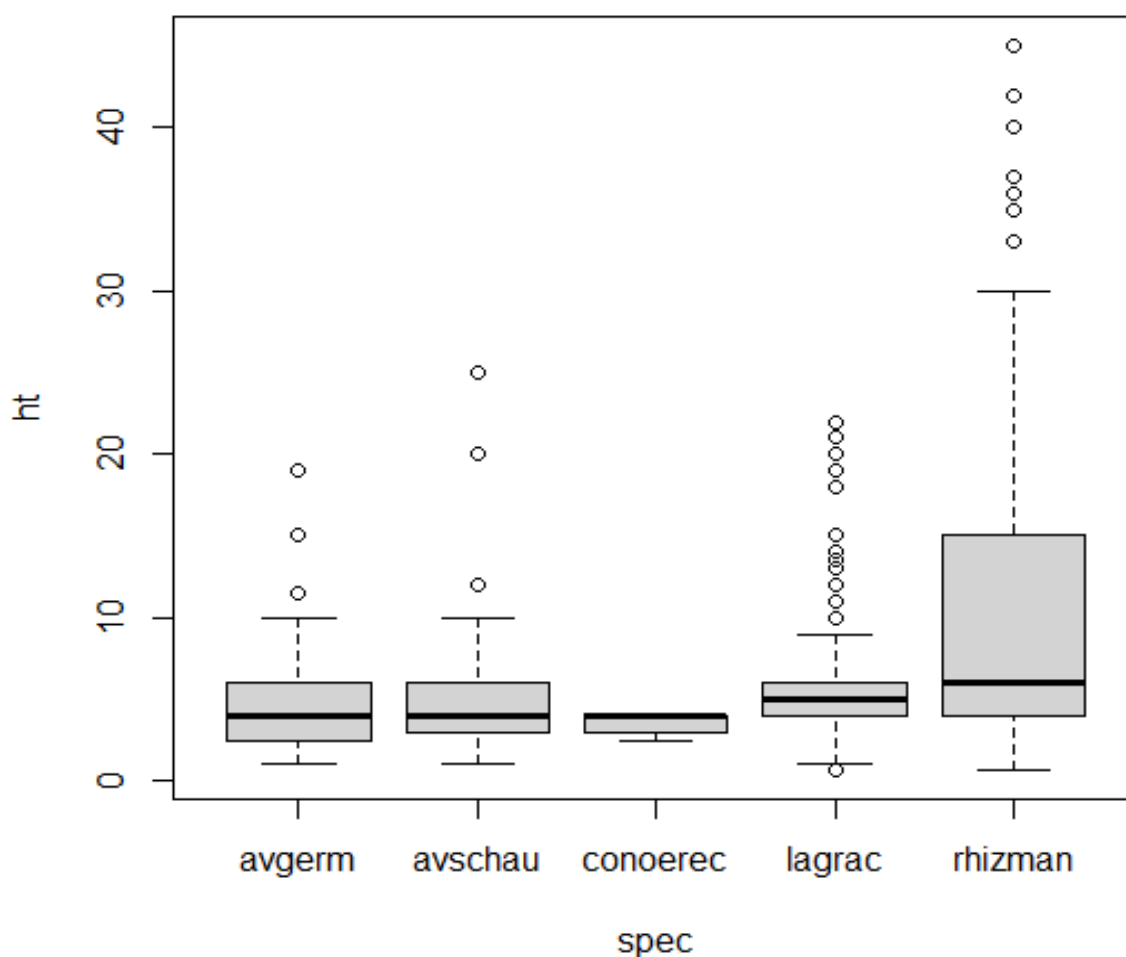
Figura 15 - Distribuição do número de indivíduos por classes de altura (m) e classes de diâmetro (cm), a intervalos fixos de 10 m e 10cm, respectivamente, nas áreas estudadas em Água Doce e Araióses, Maranhão.



Fonte - Dados da pesquisa (2021)

Os valores de altura situam-se entre 0,70 e 45,00 m (média de 7,37 m). Foi observado número expressivo de indivíduos jovens com altura e diâmetros menores (Figs. 16 e 17). Para Araióses, a floresta de mangue na área em regeneração apresenta 5,59 m de altura, enquanto a floresta de mangue conservada apresenta média de 32,01 m de altura. Individualmente, *Rhizophora mangle* apresentou os maiores valores de altura e diâmetro, destaque para indivíduos de Ilha dos Poldros (D), onde registrou-se altura de 45 m (Tabela 4). A ordenação na Fig. 38 (veja Apêndice) evidencia a separação das faixas de altura por espécies ao longo das áreas, demonstrando similaridade do porte das espécies de *Avicennia* sp. e nítido destaque para *Rhizophora* sp., apresentando as maiores faixas de altura.

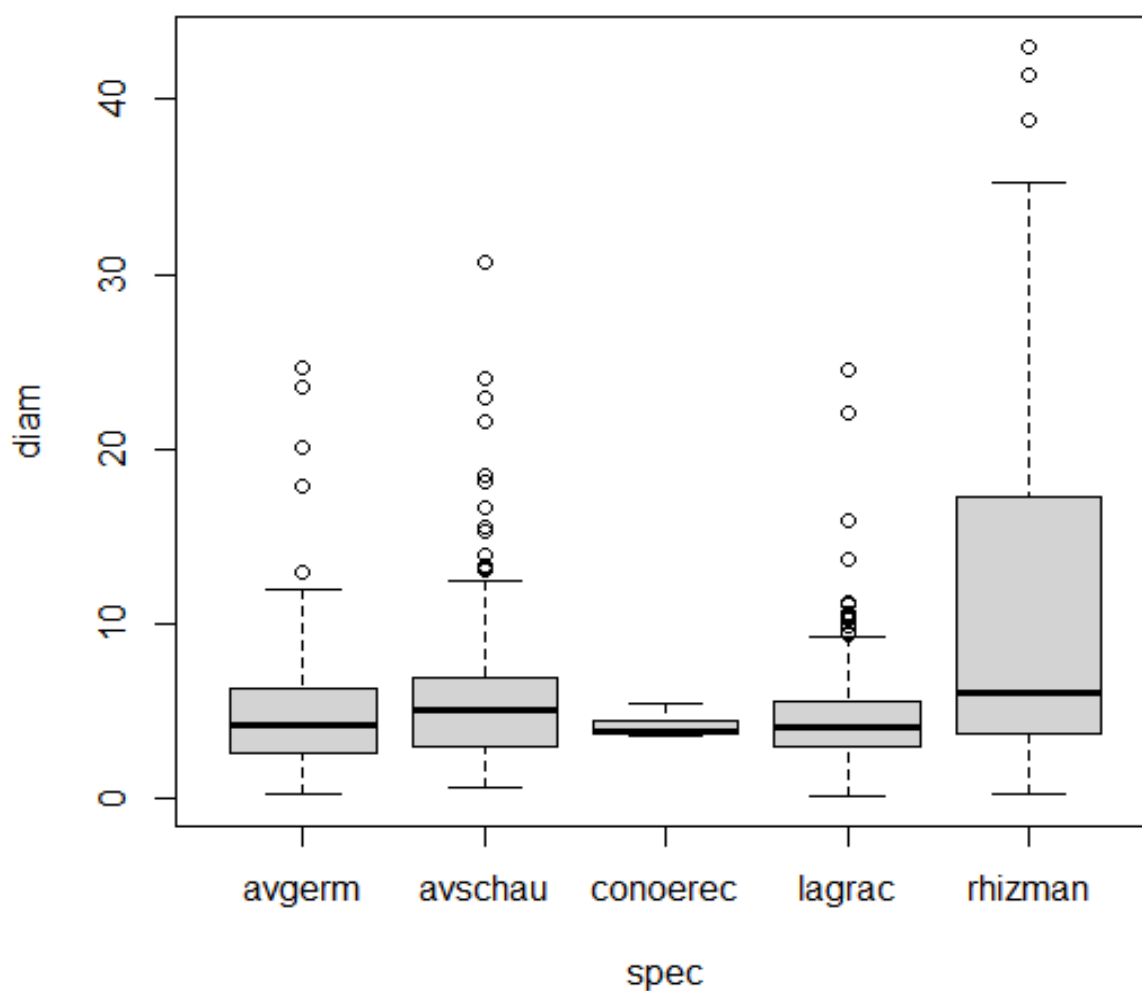
Figura 16 - Boxplots da separação das alturas por espécies englobando todas às áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão. As siglas estão de acordo com os dados em Tabela 3.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

O DAP das árvores foi de 0,2229 a 42,9936 cm (média de 6,7608), com os maiores valores de diâmetros registrados para *Rhizophora mangle* com 42,9936 cm e 41,4012 cm, dos quais o mais extremo foi um indivíduo de *A. germinans* com 28,6 cm e um de *L. racemosa* com 20,7 cm (Fig. 17).

Figura 17 - Distribuição dos diâmetros por espécies englobando todas às áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão. As siglas estão de acordo com os dados em Tabela 3.

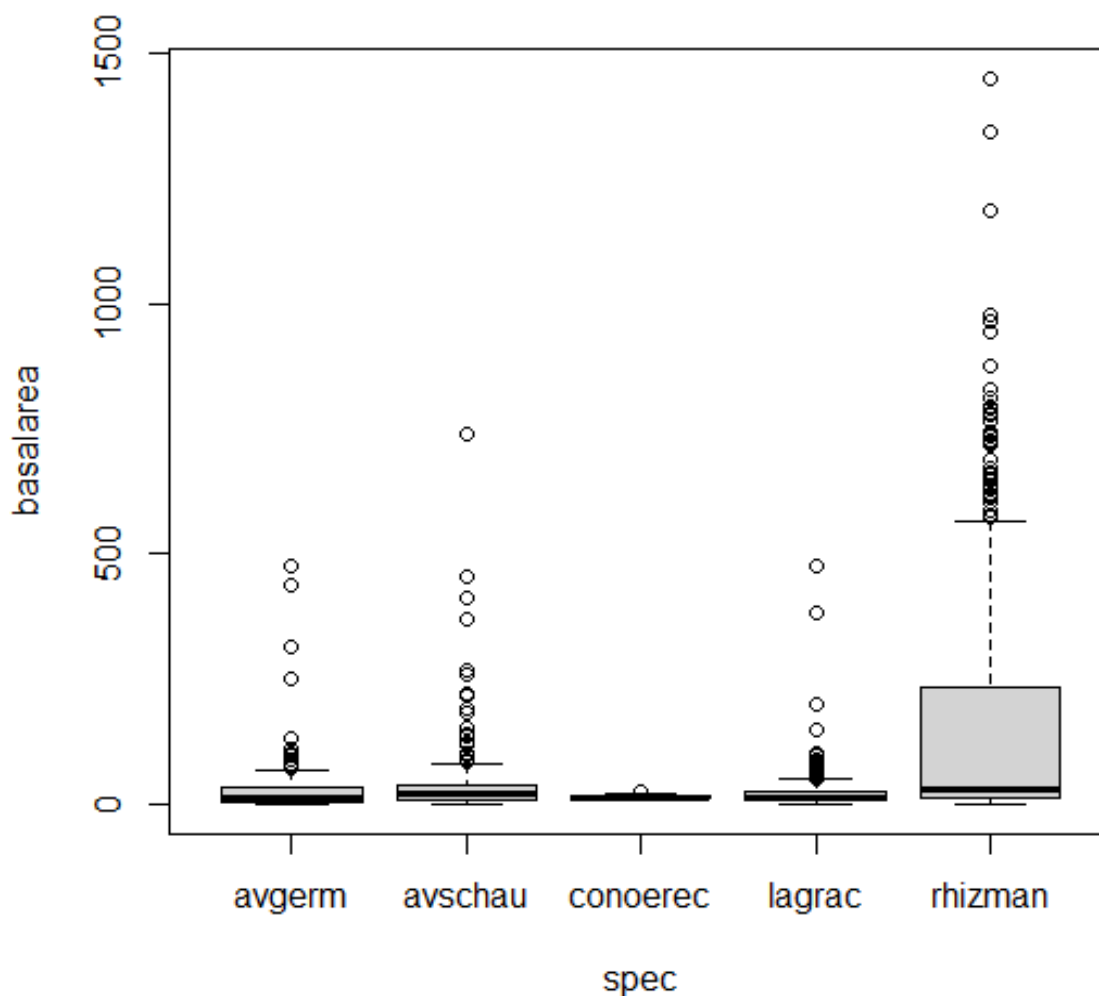


Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Quanto a área basal, os valores compreenderam o intervalo entre 0,039 cm<sup>2</sup> e 1451,035 cm<sup>2</sup>, com média de 68,728 cm<sup>2</sup>, com maiores valores 1451,035 cm<sup>2</sup> e 1451,66 cm<sup>2</sup> registrados em *R. mangle* (Fig. 18).



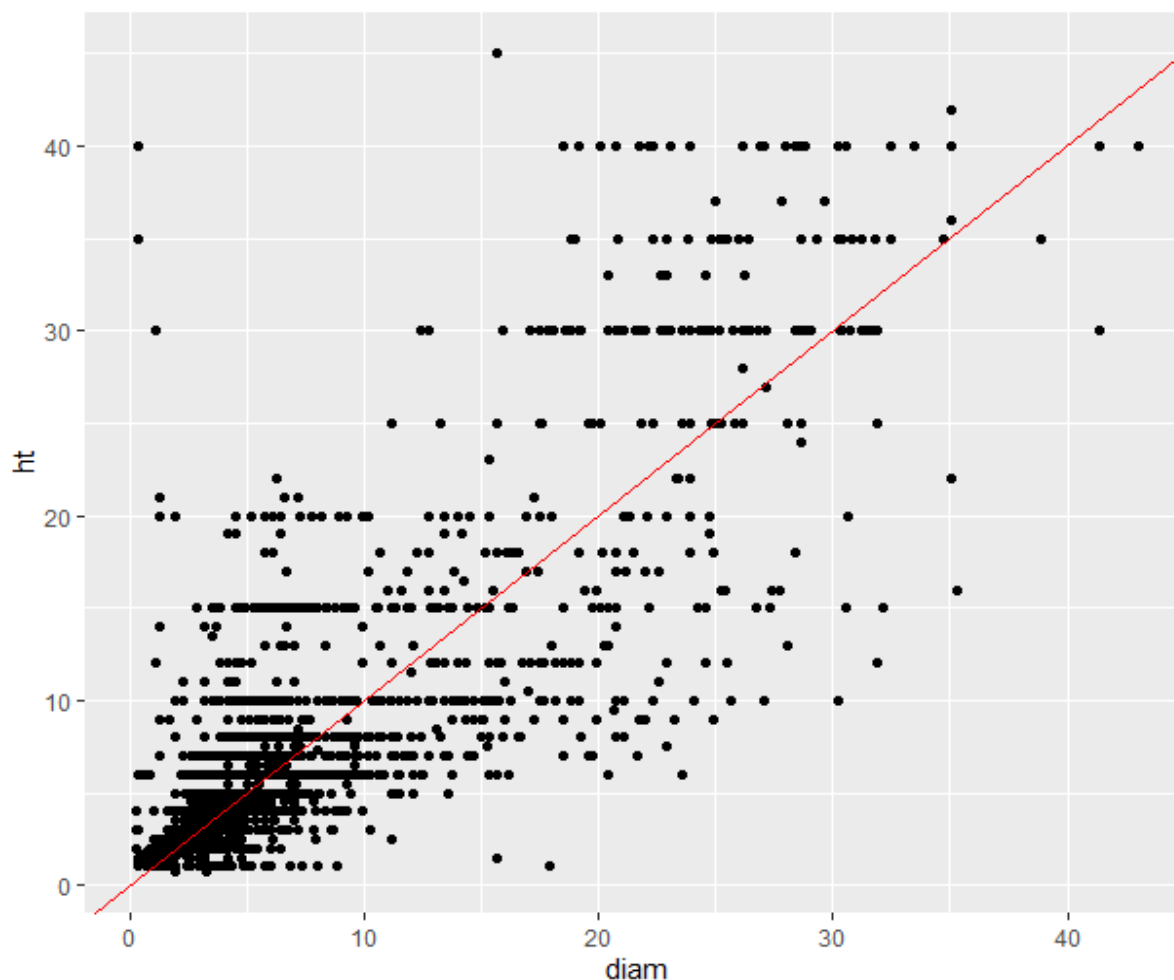
Figura 18 - Área basal por espécie englobando todas às áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão. As siglas estão de acordo com os dados em Tabela 3.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Observou-se número expressivo de indivíduos jovens com altura e diâmetros menores (Fig. 19), enquanto *R. mangle* apresentou alturas e diâmetros com valores maiores ao comparar as espécies por área (Fig. 38). Observa-se que a área C apresenta maior número de indivíduos jovens, enquanto a D destaca-se os mais maduros e quase em sua totalidade de composto por *R. mangle* (Fig. 38).

Figura 19 - Distribuição do número de indivíduos por classes de altura (m) e classes de diâmetro (cm) por áreas estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A densidade absoluta de indivíduos foi de 2196,667 ind ha<sup>-1</sup>, com as densidades relativas maiores para *Laguncularia racemosa* (48,40%), seguida de *Rhizophora mangle* (35,10%), *Avicennia schaueriana* (10,01%), *A. germinans* (6,11%) e *Conocarpus erectus* (0,38%) (Tabela 4). *L. racemosa* apresentou alta densidade absoluta na área C (1273 indivíduos), já *R. mangle* apresentou alta densidade absoluta nas áreas A (137 indivíduos), B (148 indivíduos) e D (158 indivíduos), enquanto *C. erectus* apresentou densidade baixa nas quatro áreas (A, B, C, D). A densidade (82%; 2164 ind ha<sup>-1</sup>) da área C apresentou valor elevado em relação as áreas A, B e D, que juntas somaram 18% (472 ind ha<sup>-1</sup>) (Tabela 3).

A dominância absoluta foi de 15.09733 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> e a dominância absoluta entre as espécies foi para *R. mangle* (11.84%) e *L. racemosa* (1,92%), enquanto os maiores valores de dominância relativa foram para *R. mangle* (78.42%) e *L. racemosa* (12.75%).

As densidades absolutas totais (DA<sub>t</sub>) das áreas, dividindo a abundância total pela área total em hectares (1.2 ha) foi de 2196.667. *R. mangle* apresentou maiores valores de densidade absoluta e relativa nas áreas A, B e D, enquanto na área C, *L. racemosa* foi a que apresentou maior valor de densidade absoluta e relativa (78.42%).

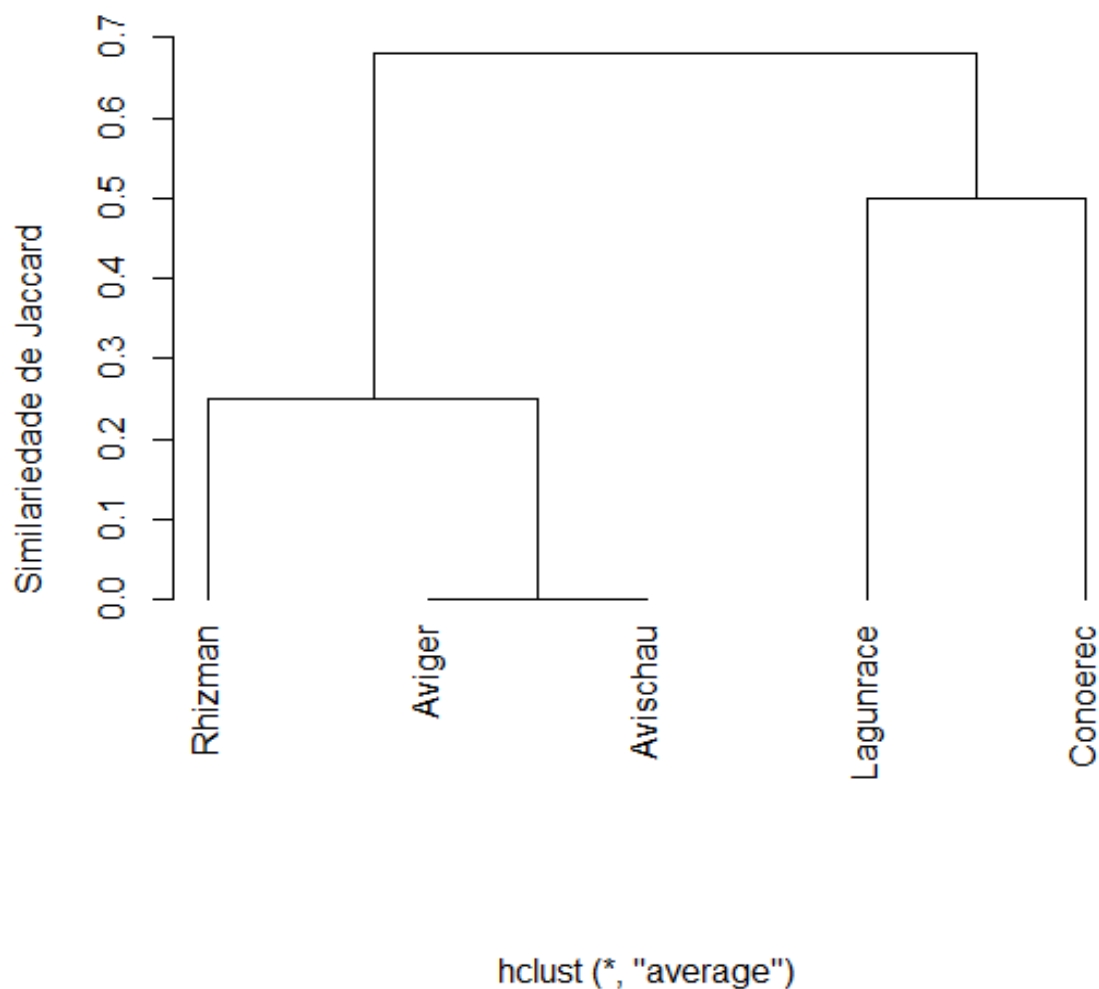
*Rhizophora mangle* (54,77%), *L. racemosa* (24,96%) e *A. schaueriana* (11,57%) apresentaram os maiores valores de importância, assim como os valores de coberturas: *R. mangle* (56,75%), *L. racemosa* (30,58%) e *A. schaueriana* (7,91%).

*Rhizophora mangle* foi a espécie que mais contribuiu para o manguezal no que se refere ao número e valor de densidade nos manguezais, apresentando maiores valores de IVI e IVC na área A, B e D, enquanto *L. racemosa* apresentou os maiores valores de IVI e IVC na Área C, *A. germinans* na Área A, *A. schaueriana* na Área B, *Rhizophora mangle* na Área C e *L. racemosa* na Área D apresentaram os segundos maiores valores de IVI nos manguezais da APA.

### **Diversidade e distribuição de espécies de mangue**

A distribuição de espécies de mangue na APA pode ser dividida em três grupos: (1) O grupo um incluiu: *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus*, *L. racemosa* amplamente representado em número, constituindo a maior parte (cerca de 50%) do IVI e *Conocarpus erectus* com ocorrência somente na área C; (2) o grupo dois juntos soma os demais 50%, onde inclui: *Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans*, encontradas em três áreas de estudo (Área A, B e C) com diferença de abundância nas áreas; (3) e o grupo três possuía apenas *Rhizophora mangle*, com distribuição em todas as áreas (Fig. 20).

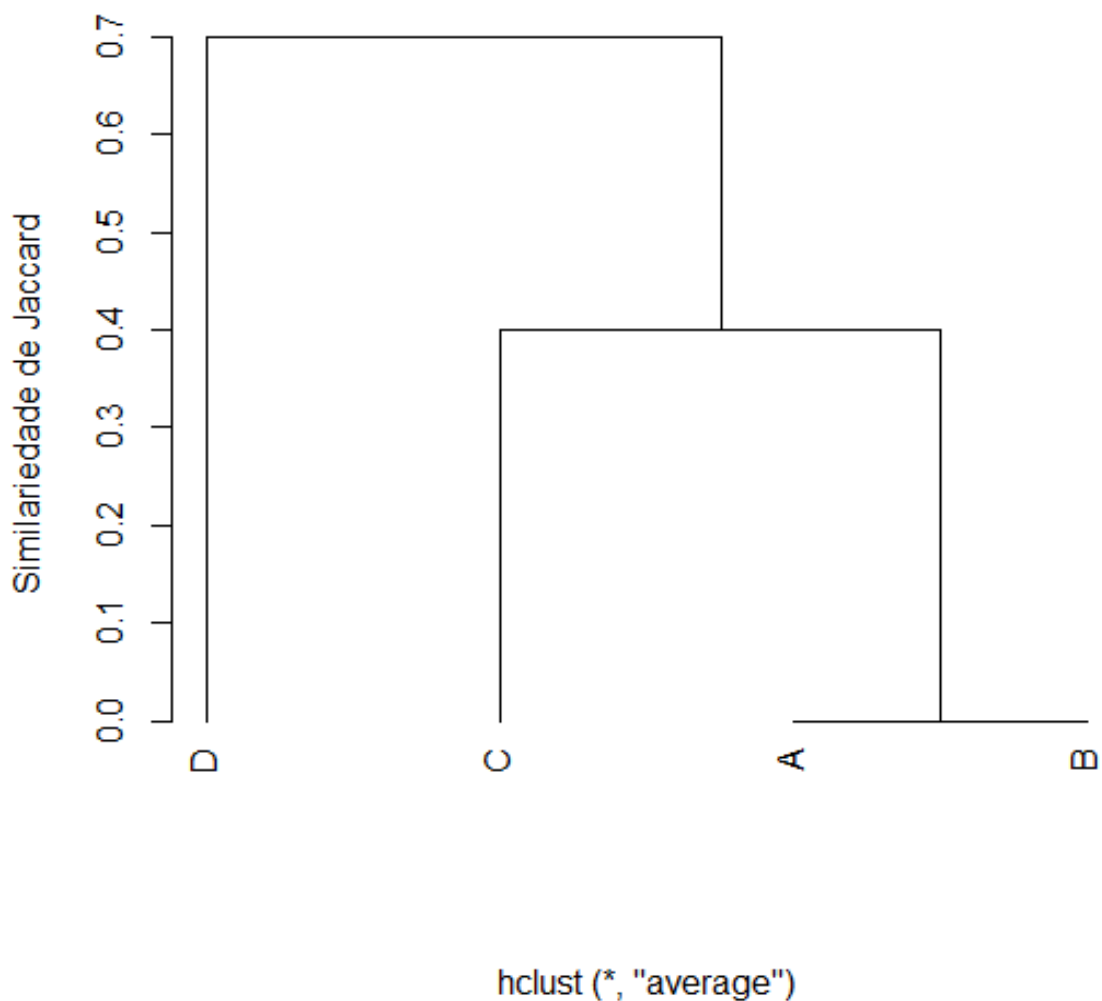
Figura 20 - Dendrograma da estrutura fitossociológica gerado a partir do Índice de similaridade de Jaccard entre as quatro áreas estudadas: A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); Áreas correspondente ao Município de Araisos; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros), amostradas pela análise de cluster UPGMA utilizando programa PAST.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A comparação entre as quatro áreas demonstrou quanto a ocorrência de espécies por área que as áreas de Água Doce estão mais próximas e mostram maior semelhança quando comparadas as das áreas C e D (Fig. 21). Foi observado na Área D (Conservada) a ocorrência de apenas duas espécies, enquanto que a Área C (em regeneração) foi a que apresentou maior ocorrência de espécies e número de indivíduos (Tabela 3).

Figura 21 - Dendrograma gerado a partir do índice de a similaridade de Jaccard entre as áreas estudadas: A: B; C e D: A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); Áreas correspondeste ao Município de Araioses; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros), de acordo com a ocorrência de espécies amostradas pela análise de cluster UPGMA utilizando programa PAST.

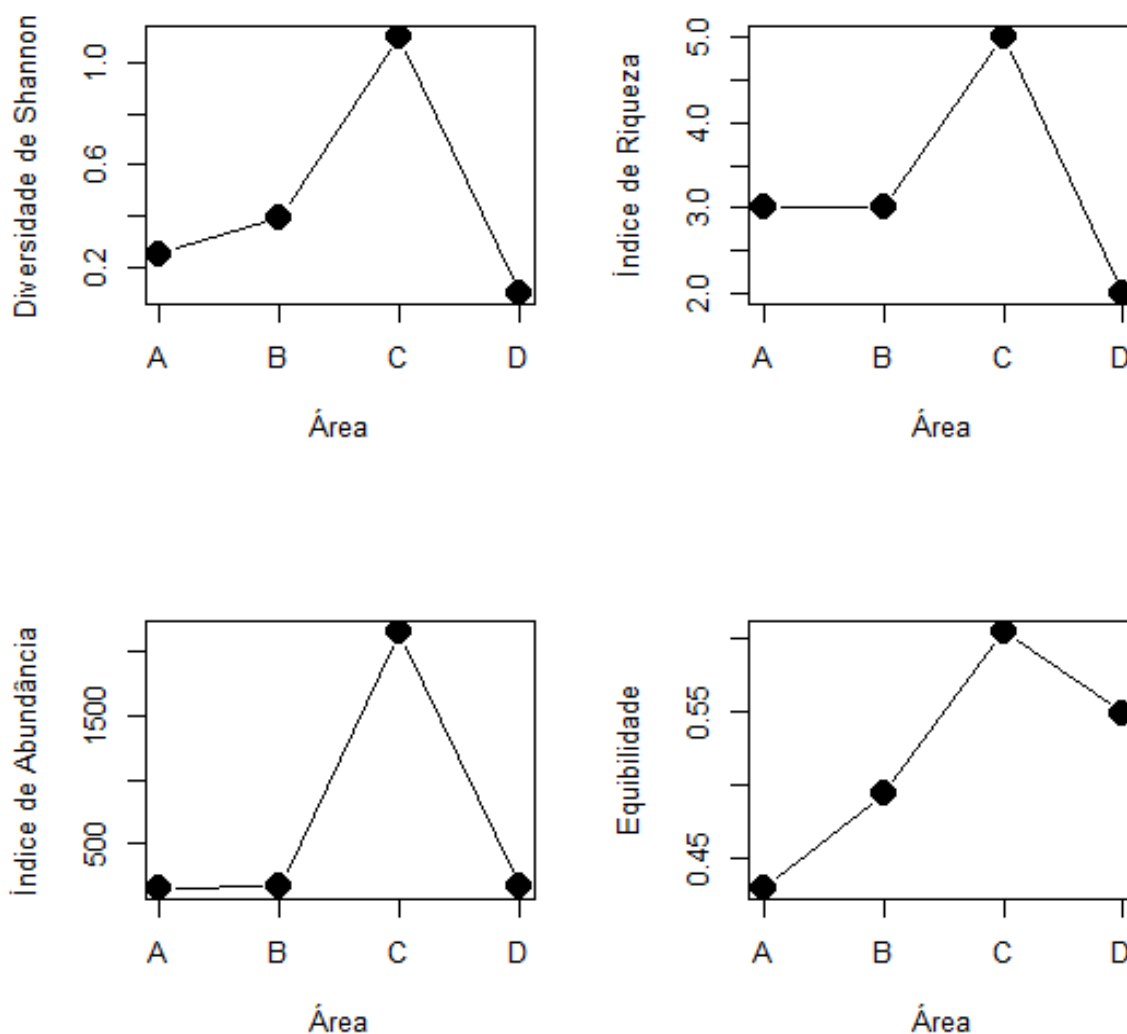


Fonte: Dados da pesquisa (2021)

### Índices de estrutura dos Bosques

A diversidade de Shannon mostra que a área C (Ilha das Barreiras) apresenta maior diversidade florística quanto às populações amostradas, conferindo à taxocenose uma alta diversidade, segunda da área B (Água Doce regenerado) (Fig. 22). A área C foi caracterizada pela alta abundância de indivíduos *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* e *Avicennia schaueriana*. Embora na área C, tenha atingido 0,687 de equibilidade ( $J'$ ), valor maior que das outras áreas, apresentando distribuição desigual de indivíduos.

Figura 22 - Agrupamento de áreas quatro áreas estudadas: A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); Áreas correspondente ao Município de Araisioses; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros) de acordo com os índices amostrados.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

O índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) e o índice de Equilibrabilidade de Peilou ( $J'$ ) na área C foram mais representativos de 1,10 e 0,60, respectivamente. Enquanto na área D foi o mais baixo (0,09), embora tenha apresentado valor maior de abundancia a área A. A área A apresentou valor de Equilibrabilidade menor em relação as outras áreas (0,42), indicando distribuição desigual de certas espécies de mangue.

### Descrição da estrutura fitossociológica geral de toda a área amostrada

A seguinte descrição trata as quatro áreas amostradas como um todo, e no sentido de como se fosse uma visão geral da floresta de mangue da Delta, baseada nos valores dos parâmetros estudados (Tabela 4).

A área total de floresta amostrada foi 1,2 ha, dividida em quatro subáreas de 0,3 ha, cada uma destas subdividida em 30 parcelas quadradas medindo 10 m × 10 m. Cinco espécies foram registradas (*Avicennia germinans*, *A. schaueriana*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*), mas devido às dificuldades (elaboradas em Manuscrito 1) em diferenciar as duas espécies de *Avicennia* para cada árvore amostrada nas parcelas, os indivíduos deste gênero foram tratados como de um só táxon, pelos fins deste estudo.

O total de 2636 árvores satisfazendo o critério de inclusão foram registradas e medidas, resultando numa densidade absoluta geral ( $DA_t$ ) de 2196,7 indivíduos/ha. Do total de 120 parcelas, 118 incluíram árvores registradas, dando uma frequência absoluta ( $F_t$ ) de 98,3%. O diâmetro médio das árvores foi 4,7 cm (mín. 0,2 cm, máx. 43,0 cm, d.p. 6,47 cm). Altura média foi 7,4 m (máx. 45 m, d.p. 7,43 m). A área basal total das árvores foi 18,12 m<sup>2</sup>, dando uma dominância absoluta total ( $DoA_t$ ) de 15,1 m<sup>2</sup>/ha. O volume (cilíndrico) total das árvores foi de 369,4 m<sup>3</sup>, dando um volume por hectare de 307,83 m<sup>3</sup>/ha.

Utilizando as equações de Fromard *et al.* (1998), a biomassa aérea viva total foi estimada como 166,28 Mg, representando uma biomassa por hectare de 138,57 Mg/ha.

Tabela 4 - Variáveis fitossociológicas distribuídas nas áreas de mangue estudadas em Água Doce e Araisões, Maranhão. Área total amostrada (A) = 1.2 ha. Área de cada subárea amostrada (SA) = 0.3 ha. \*Avic: *Avicennia germinans* + *A. schaueriana*, valores juntados; Cono: *Conocarpus erectus*; Lagrac: *Lagenocarpus racemosa*; Rhiz: *Rhizophora mangle*.

Variáveis	Toda Área	Área A	Área B	Área C	Área D	Avic*	Cono	Lagrac	Rhiz
No. de indivíduos: total N/ por área Narea/ por espécie Ne	2.636	145	166	2.164	161	425	10	1276	925
No. espécies*:	4	2	2	4	2				
No. parcelas amostradas: total/por área/	120	30	30	30	30				
No. parcelas com qualquer árvore: total P/ por espécie Pe	118	30	28	30	30	48	4	32	117
Densidade absoluta: total DAT/ por área DAarea/ por espécie DAe (indivíduos por ha)	2.196,7	483,3	553,3	7.213,3	536,7	354,2	8,3	1.063,3	770,8
Densidade relativa: por espécie (%)						16,1	0,4	48,4	35,1
Frequência absoluta: total Ft/ por espécie FAe (%)	98,3					40,0	3,3	26,7	97,5
Frequência relativa: por espécie FRE (%)						23,9	2,0	15,9	58,2
Área basal: total Gt/ por área G.SA/por espécie Ge ( m <sup>2</sup> )	18,1	3,5	2,5	4,0	8,1	1,6	0,01	2,3	14,2
Dominância absoluta: total DoAt/por área DoA.SA/por espécie DoAe (m <sup>2</sup> /ha)	15,1	11,6	8,4	13,5	26,9	1,3	0,01	1,9	11,8
Dominância relativa: por espécie DoRe (%)						8,7	01	12,8	78,4
Valor de Importância: por espécie VIe (%)						16,3	0,8	25,7	57,3
Valor de Cobertura: por espécie VCe						12,4	0,2	30,6	56,8
Volume : total Volt/ / por área Vol.SA/ por espécie Vole (m <sup>3</sup> )	369,4	50,3	29,6	26,4	263,2	12,8	0,1	17,2	339,3
Volume por ha: total (Volt.1.2)/ por área (Vol.SA/0.3)/ por espécie (Vole/1.2) (m <sup>3</sup> /ha)	307,8	167,5	98,7	87,9	877,2	10,7	0,04	14,4	282,8
Biomassa: total Bt/ por área B.SA /por espécie Be (Mg)	166,3	34,4	22,1	14,7	95,1	7,4	0,04	7,5	151,4
Biomassa por ha: total (Bt/1.2)/por área (B.SA/0.3)/por espécie (Be/1.2) (Mg/ha)	138,6	114,6	73,6	49,0	317,1	6,16	0,03	6,2	126,2
Diâmetro médio (d.p.) (cm <sup>2</sup> )	6,8 (6,5)	16,2 (6,7)	12,0 (6,9)	4,4 (2,1)	24,4 (6,5)	5,6 (4,0)	4,2 (0,7)	4,4 (2,0)	10,6 (9,1)
Diâmetro mediano (cm <sup>2</sup> )	4,7	15,6	11,3	4,1	24,8	4,8	3,9	4,1	6,1
Diâmetro interquartile range (cm <sup>2</sup> )	3,5	8,1	10,5	2,8	7,6	4,0	0,6	2,6	13,5
Diâmetro mínima-máxima (cm <sup>2</sup> )	0,2-43,0	2,9	1,6	0,2	0,3				
Altura média (d.p.) (m)	7,4 (7,4)	12,9 (4,6)	8,8 (5,2)	5,1 (3,1)	31,7 (6,3)	4,8 (2,9)	3,6 (0,6)	5,6 (3,5)	11,0 (10,8)
Altura mediana (m)	5	12	7	4	30	4	4	5	6
Altura interquartile range (m)	3,5	6	7	3	5	3,0	0,9	2,0	11,0
Altura mínima-máxima (m)	0,7-45	1,0-25	0,7-25	0,7-22	8,0-45	1,0-25	2,5-4	0,7-22	0,7-45
Volume médio (m <sup>3</sup> )	0,1	0,4	0,2	0,01	1,6	0,03	0,01	0,01	0,4
Volume mediano (m <sup>3</sup> )	0,01	0,2	0,1	0,01	1,5	0,01	0,004	0,01	0,02

Fonte: Dados da pesquisa (2021)



### Comparação da estrutura fitossociológica das quatro áreas estudadas

A diversidade geográfica e ecológica entre as quatro áreas apresentada acima, pode ser representada de forma esboçada pelas combinações de fatores apresentadas na Tab.5.

Tabela 5 - Características geográficas e ecológicas das quatro áreas estudadas.

Área	A	B	C	D
Posição dentro do Delta	continental	continental	costeira	costeira
História de antropização	madura, conservada	antiga salina em regeneração por 50 y	antiga salina em regeneração por 25 y	madura, conservada
Influência das marés	pouca	forte	moderada	Forte
Influência do fluxo de água doce do continente	significante	moderada	pouca	pouca
Proximidade de centro urbano	próxima	próxima	distante	distante
Impactos humanos atuais	pesca de caranguejo	pouca evidência	extração de madeira	pouca evidência
Posição relativa ao corpo d'água mais próxima	na beira do igarapé principal	na beira do igarapé secundário	not bordering main tidal channel	na beira do igarapé principal

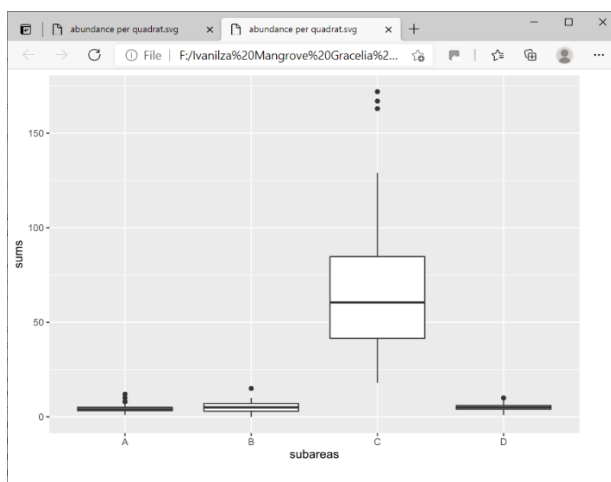
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Em termos de maturidade de estrutura, as quatro áreas podem ser vistas numa progressão a partir da Área C, recuperando por 25 anos, e terminando com Área D, a floresta mais alta e aparentemente a menos perturbada. Mas outros fatores atuam para complicar esta dimensão temporal de desenvolvimento, como as diferenças ecológicas consequentes na localização e proximidade ao continente, áreas urbanas, e os cursos de água.

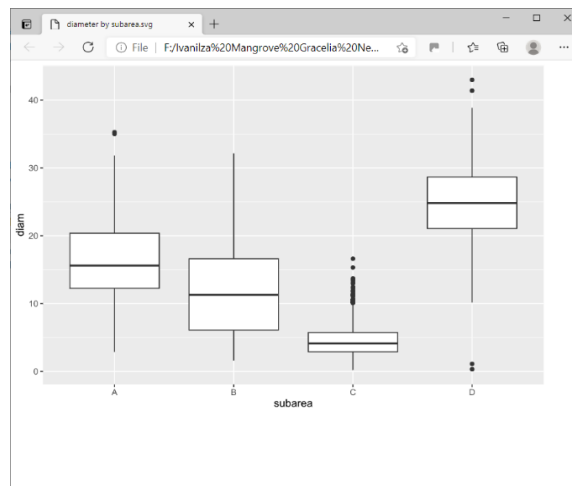
Nas figuras seguintes (Fig. 23), as quatro áreas são comparadas através das diferenças em quatro parâmetros da maior importância estrutural: densidade por parcela, diâmetro, altura e biomassa.

Figura 23 - Distribuição individual das árvores de cada área amostrada de acordo com quatro principais parâmetros estruturais.

a). No. indivíduos por parcela em cada área

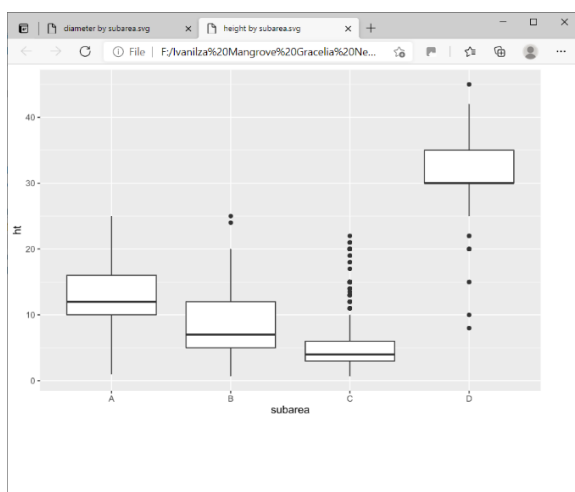


b). Diâmetro individual por área (cm)

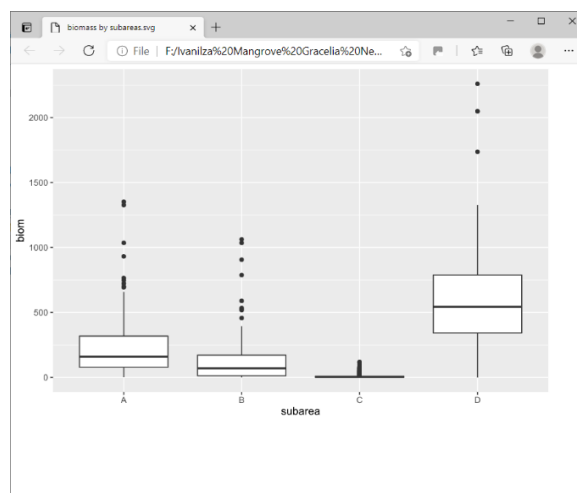


c). Altura individual por área (m)

Fonte: Dados da pesquisa (2021).



d). Biomassa individual por área (kg)



As diferenças entre as áreas, por cada parâmetro, foram testadas usando o teste Kruskal-Wallis e o teste Dunn (Tabelas 6, 7, 8, 9). O primeiro testou a presença de diferenças significativas entre os medianos das áreas, e o segundo testa a diferença entre cada par de áreas (comparação múltipla). Estes testes não-paramétricos foram usados porque os dados não se mostraram, na sua maioria, com distribuição normal.

Tabela 6 - Teste de Dunn para comparações múltiplas dos valores de número de indivíduos por parcela entre áreas (Fig. 23a). Área A: Conservado próximo ao continente. Área B: Em regeneração por aprox. 50 anos. C: Em regeneração por aprox. 25 anos. D: Aconservado próximo ao oceano. Valores de significância P em cochetes. Valores principais são a z-estatística de Dunn para cada comparação. n.s.: sem diferença. \* diferença significativa.

<b>Densidade por parcela</b>			
Áreas	A	B	C
B	-0.758 [0.2241 n.s.]		
C	-7.230 [0.0000*]	-6.541 [0.0000*]	
D	-1.014 [0.1554 n.s.]	-0.255 [0.3992 n.s.]	6.285 [0.0000*]

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Tabela 7 - Teste de Dunn para comparações múltiplas dos valores de diâmetro (DAP) dos indivíduos nas áreas (Fig. 23b). Veja legenda de Tabela 6 para maiores detalhes.

<b>Diâmetro individual por área (cm)</b>			
Áreas	A	B	C
B	2.860 [0.0021*]		
C	17.564 [0.0000*]	14.671 [0.0000*]	
D	-2.433 [0.0075*]	-5.457 [0.0000*]	-21.853 [0.0000*]

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Tabela 8 - Teste de Dunn para comparações múltiplas dos valores de altura dos indivíduos nas áreas (Fig. 23c).

<b>Altura individual por área (m)</b>			
Áreas	A	B	C
B	5.614 [0.0000*]		
C	16.466 [0.0000*]	9.6151 [0.0000*]	
D	-3.952 [0.0000*]	-9.859 [0.0000*]	-22.829 [0.0000*]

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Tabela 9 - Teste de Dunn para comparações múltiplas dos valores de biomassa dos indivíduos nas áreas (23d).

<b>Biomassa individual por área (kg)</b>			
Áreas	A	B	C
B	2.491 [0.0064*]		
C	17.962 [0.0000*]	15.616 [0.0000*]	
D	-2.214 [0.0134*]	-4.851 [0.0000*]	-21.964 [0.0000*]

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

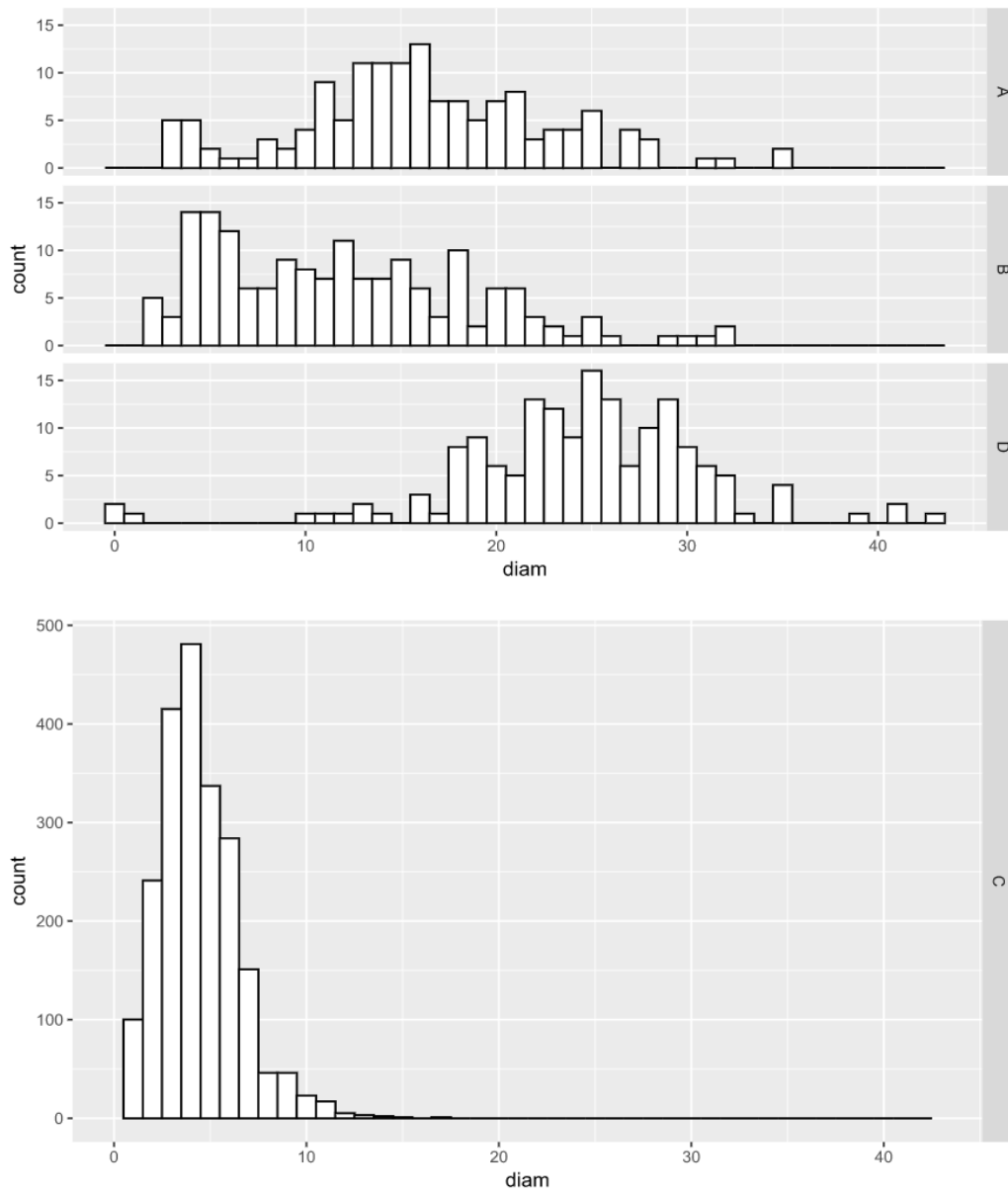
Os resultados mostram que, quanto a densidade, as Áreas A, B e D não foram significativamente diferentes, ao passo que Área C tem uma densidade significativamente maior.

Quanto aos parâmetros diâmetro, altura e biomassa, as quatro Áreas são todas significativamente diferentes uma da outra, e se encontram na mesma ordem de magnitude, ou seja, com os valores menores em Área C, seguido crescentemente por Áreas B, A e finalmente

D. Portanto, as florestas maiores tem densidade relativamente baixa e diâmetro, altura e biomassa maior.

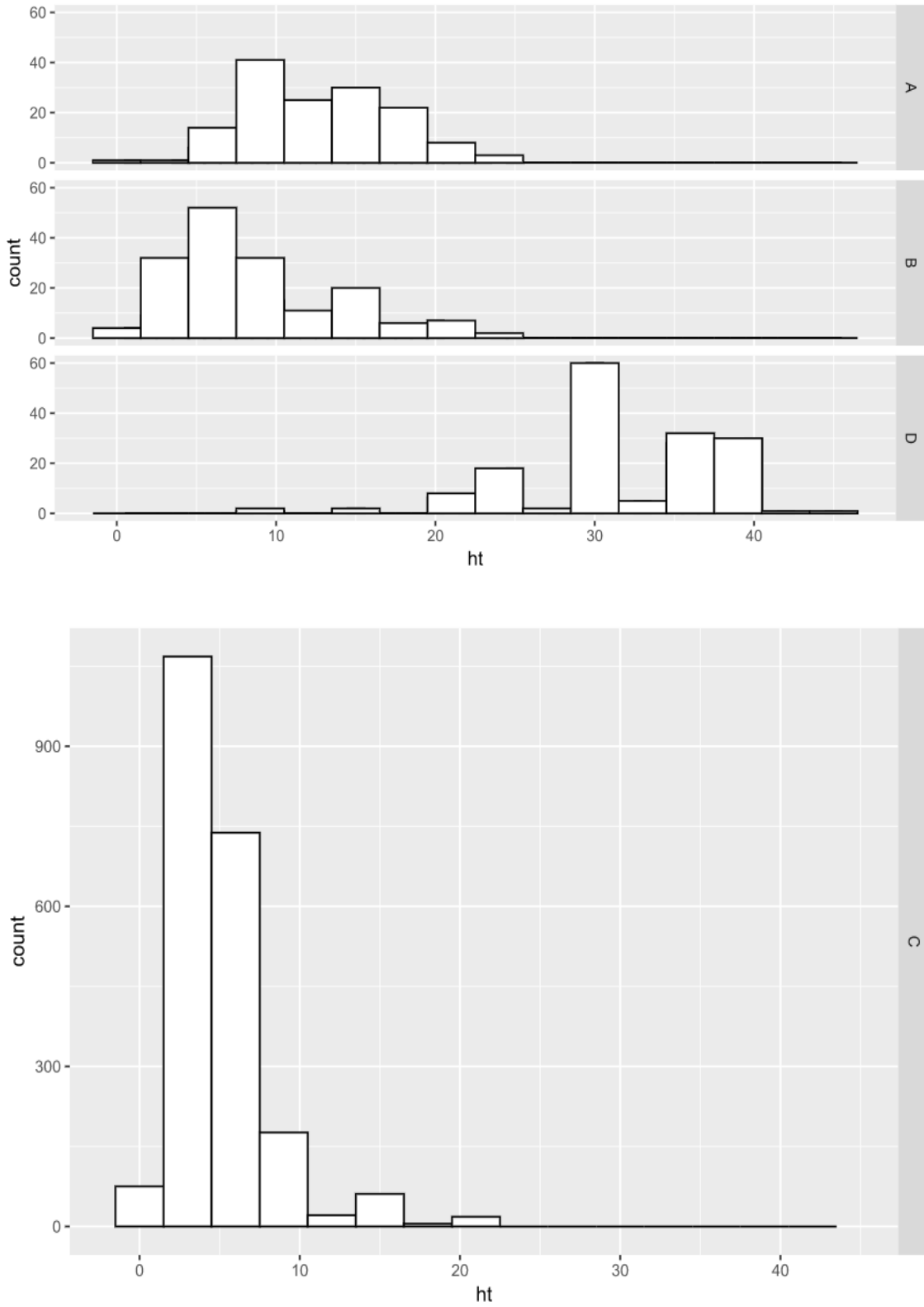
Os seguintes perfis (Figs. 24 - 26) de classes de diâmetro, altura e biomassa revelam outros detalhes da variação estrutural das quatro áreas, mostrando uma progressão similar. Diâmetro é menor e com menor gama de variação em Área C, enquanto nas outras áreas a gama de variação é de amplitude maior, com o mediano aumentando desde Área B até Área D (Fig. 23b). Altura mostra um padrão similar, mas a distinção da Área D se manifesta ainda mais claramente (Fig. 23c). No caso de biomassa, a variação se apresenta ainda mais restrita na Área C e mais diferenciada na Área D, enquanto a diferenciação é mais evidente nos perfis das Áreas A e B. Esses resultados sugerem que as quatro Áreas parecem mais diferenciadas pelos seus padrões de biomassa do que por outras medidas.

Figura 24 - Distribuição de diâmetro individual (cm), por classes de 1 cm, nas quatro áreas amostradas.



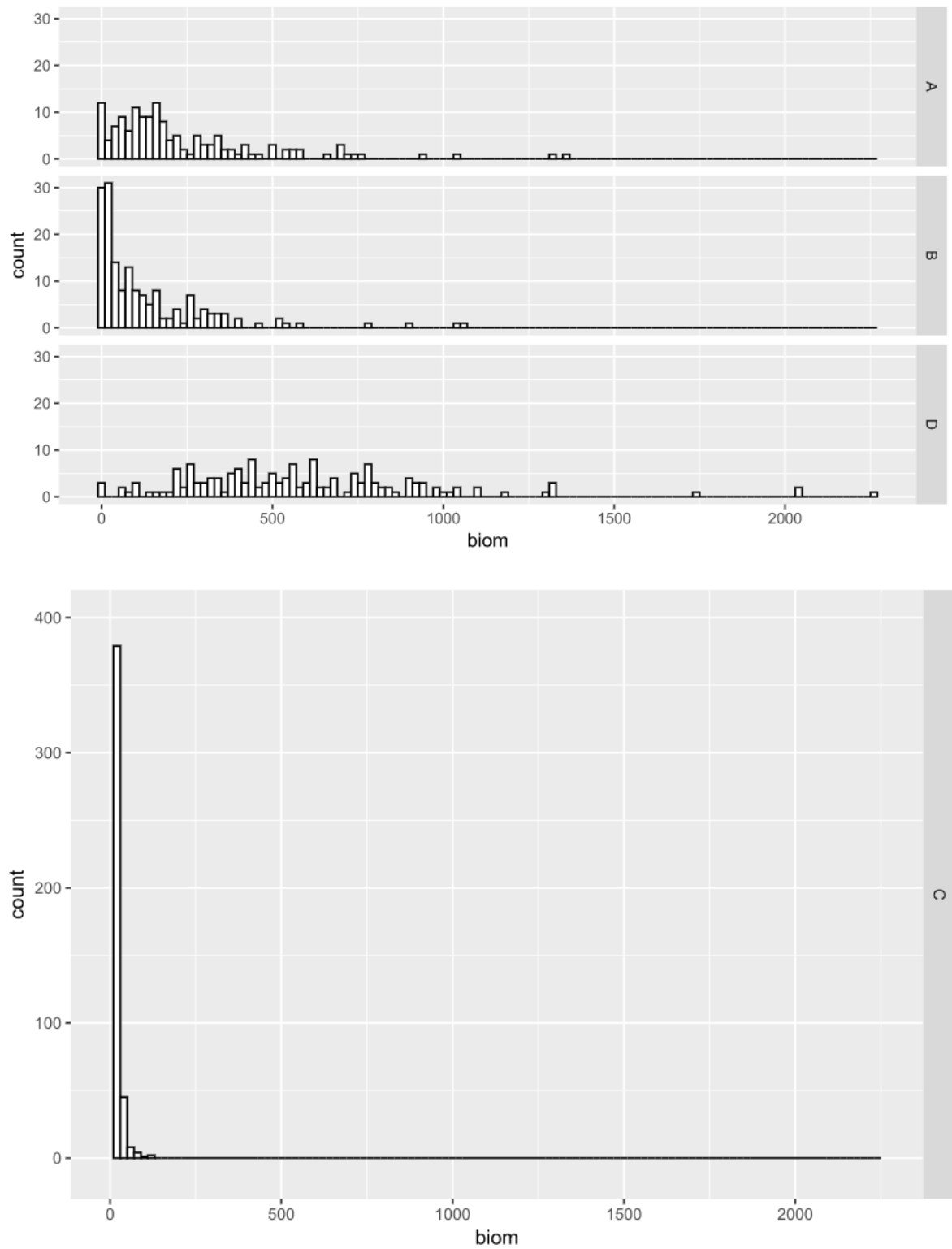
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 25 - Distribuição de altura individual (m), por classes de 1 m, nas quatro áreas amostradas.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 26 - Distribuição de biomassa individual (kg), por classes de 20 kg, nas quatro áreas amostradas.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

## Variação estrutural das espécies dentro das Áreas amostradas

Tabela 10 apresenta todos os valores dos parâmetros das espécies dentro das suas respectivas Áreas.

Tabela 10 - Variáveis fitossociológicas obtidas por espécie em cada subárea amostrada de 0,3 hectare. \*Avic: os dados das duas espécies de *Avicennia* (*A. germinans* e *A. schaueriana*) são combinados.

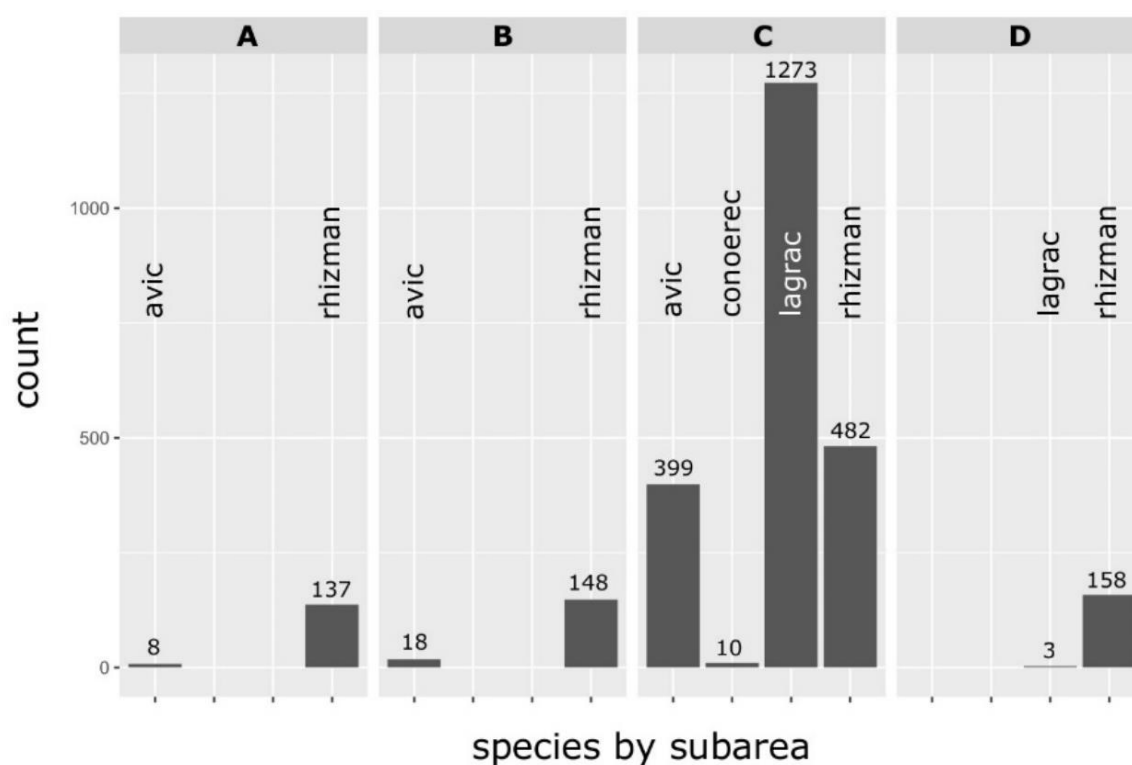
Espécies	Área A		Área B		Área C			Área D		
	Avic*	Rh	Avic*	Rh	Avic*	Con	Lag	Rh	Lag	Rh
No. de indivíduos: por espécie em cada área Ne.SA	8	137	18	148	399	10	1273	482	3	158
Densidade absoluta: por espécie em cada área DAe.SA (indivíduos por ha)	26,7	456,7	60,0	493,3	1330,0	33,3	4243,3	1606,7	10,0	526,7
Densidade relativa: por espécie em cada área DRe.SA (%)	5,52	94,48	10,84	89,16	18,44	0,46	58,83	22,27	1,86	98,14
No. parcelas com qualquer árvore: por espécie em cada área Pe.SA	6	30	12	27	30	4	30	30	2	30
Frequência absoluta: por espécie em cada área FAe.SA (%)	20	100	40	90	100	13,33	100	100	6,67	100
Frequência relativa: por espécie em cada área FRE.SA (%)	16,67	83,33	30,77	69,23	31,91	4,26	31,91	31,91	6,25	93,75
Área basal: por espécie em cada área Ge.SA (m <sup>2</sup> )	0,18	3,31	0,37	2,14	1,03	0,01	2,20	0,79	0,11	7,98
Dominância absoluta: por espécie em cada área DoAe.SA (m <sup>2</sup> /ha)	0,60	11,02	1,24	7,12	3,43	0,05	7,35	2,64	0,35	26,59
Dominância relativa: por espécie em cada área DoRe.SA (%)	5,19	94,81	14,82	85,18	25,50	0,35	54,54	19,6	1,31	98,69
Valor de Importância: por espécie em cada área Vle.SA (%)	9,12	90,88	18,81	81,19	25,29	1,69	48,43	24,60	3,14	96,86
Valor de Cobertura: por espécie em cada área VCe.SA	5,35	94,65	12,83	87,17	21,97	0,41	56,69	20,94	1,59	98,41
Volume: por espécie em cada área Vole.SA (m <sup>3</sup> )	1,78	48,47	4,68	24,94	6,33	0,05	15,79	4,21	1,45	261,70
Volume por ha: por espécie em cada área (Vole.SA/0.3) (m <sup>3</sup> /ha)	5,93	161,57	15,60	83,12	21,09	0,17	52,64	14,03	4,82	872,33
Biomassa: por espécie em cada área Be.SA (Mg)	1,03	33,36	2,23	19,84	4,13	0,04	6,81	3,73	0,65	94,48
Biomassa por ha: por espécie em cada área (Be.SA/0.3) (Mg/ha)	3,43	111,20	7,43	66,12	13,78	0,13	22,69	12,42	2,15	314,93
Diâmetro médio (cm <sup>2</sup> )	16,45	16,17	14,18	11,79	5,01	4,20	4,33	4,11	20,87	24,51
Diâmetro mediano (cm <sup>2</sup> )	16,60	15,60	12,57	11,30	4,62	3,90	4,14	4,01	22,12	24,91
Diâmetro "interquartile range" (cm <sup>2</sup> )	5,68	8,34	12,02	9,97	3,53	0,64	2,51	2,52	4,33	7,46
Diâmetro mínimo-máximo (cm <sup>2</sup> )	11,05-24,03	2,86-35,27	1,59-30,65	1,59-32,15	0,32-16,62	3,66-5,51	0,22-13,72	0,32-13,59	15,92-24,57	0,32-42,97
Altura média (m)	9,69	13,08	9,22	8,70	4,48	3,60	5,59	4,31	12,67	32,01
Altura mediana (m)	10	12	6,5	7	4	4	5	4	15	30
Altura "interquartile range" (m)	2,13	6,0	7,25	7,0	3,0	0,88	2,0	2,0	3,5	5,0
Altura mínima-máxima (m)	1-15	4-25	2-25	0,7-24	1-15	2,5-4	0,7-22	1-21	8-15	10-45
Volume médio (m <sup>3</sup> )	0,22	0,35	0,26	0,17	0,02	0,005	0,01	0,009	0,48	1,66
Volume mediano (m <sup>3</sup> )	0,16	0,24	0,13	0,08	0,007	0,004	0,006	0,005	0,58	1,52

Fonte: Dados da pesquisa (2021)



As contribuições de cada espécie para os valores de abundância (densidade absoluta) de cada Área (0.3 ha) são apresentadas na Figura 27. Área C é predominada pela abundância de *Laguncularia racemosa*, e também apresenta maiores valores de *Avicennia spp.* e de *Rhizophora mangle* que nas outras Áreas. *Conocarpus erectus* foi registrada somente nesta Área.

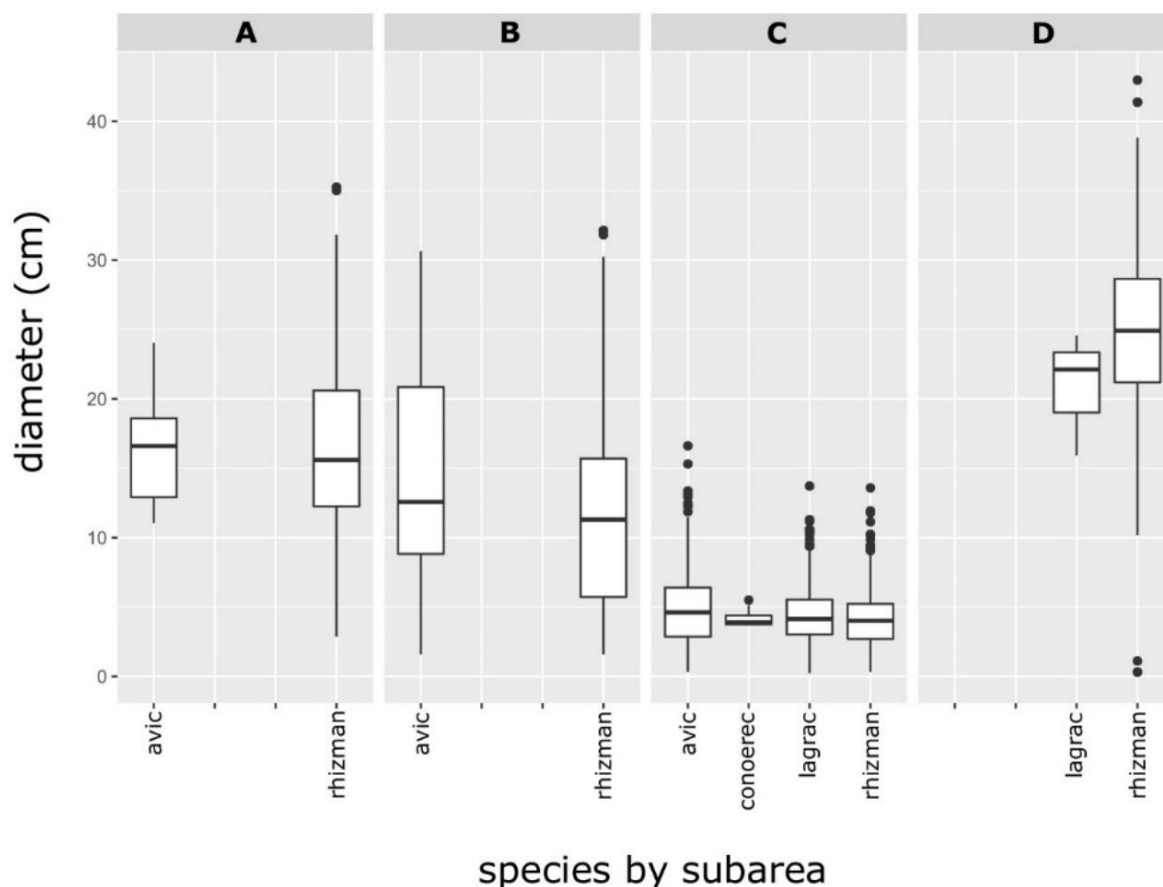
Figura 27 - Abundância das espécies em cada área. count = número de indivíduos por Área, indicados em cima de cada barra. avic = *Avicennia spp.* conoerrec = *Conocarpus erectus*. lagrac = *Laguncularia racemosa*. rhizman = *Rhizophora mangle*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Fora da Área C, *Laguncularia racemosa* foi registrada somente na Área D, e por somente três indivíduos. *Rhizophora mangle* apresentou valores muito similares nas outras três Áreas. Nas Áreas A e B, a única diferença notável registrada em abundância foi o maior número de espécie de *Avicennia spp.* em Área B, área em regeneração.

Figur 28 - Diâmetro (cm) dos indivíduos das espécies em cada área. O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). avic = *Avicennia* spp. conoerec = *Conocarpus erectus*. lagrac = *Laguncularia racemosa*. rhizman = *Rhizophora mangle*.



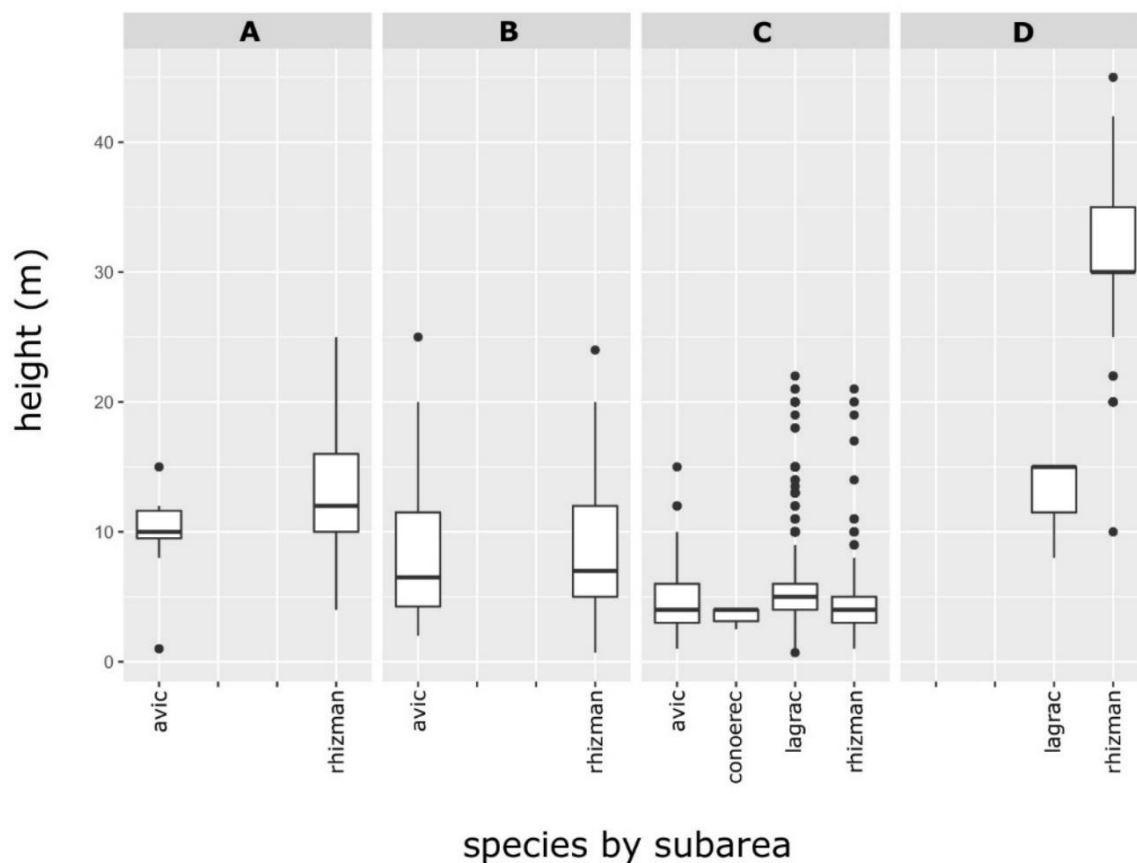
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Na Área C, onde há a abundância maior, os diâmetros de todas as espécies são bem menores do que nas outras áreas, e parecidos entre si, embora os de *Avicennia* sejam levemente maiores que nas outras espécies (Fig. 28).

Nas Áreas A e B, se observa um aumento em diâmetro nos indivíduos de *Rhizophora mangle* em Área A. A maior variância no caso de *Avicennia* em Área B pode ser resultado do número maior de indivíduos desta espécie registrado, mas o valor mediano é maior em Área A (conservada), como em *R. mangle*. Área B mostra que as *Avicennia* spp., apesar da menor abundância, apresentam diâmetros em geral maiores que *R. mangle*, mas que na área conservada essa diferença é menor.

Os diâmetros na Área D são consideravelmente maiores das outras áreas em ambas as espécies, mas particularmente em *R. mangle*.

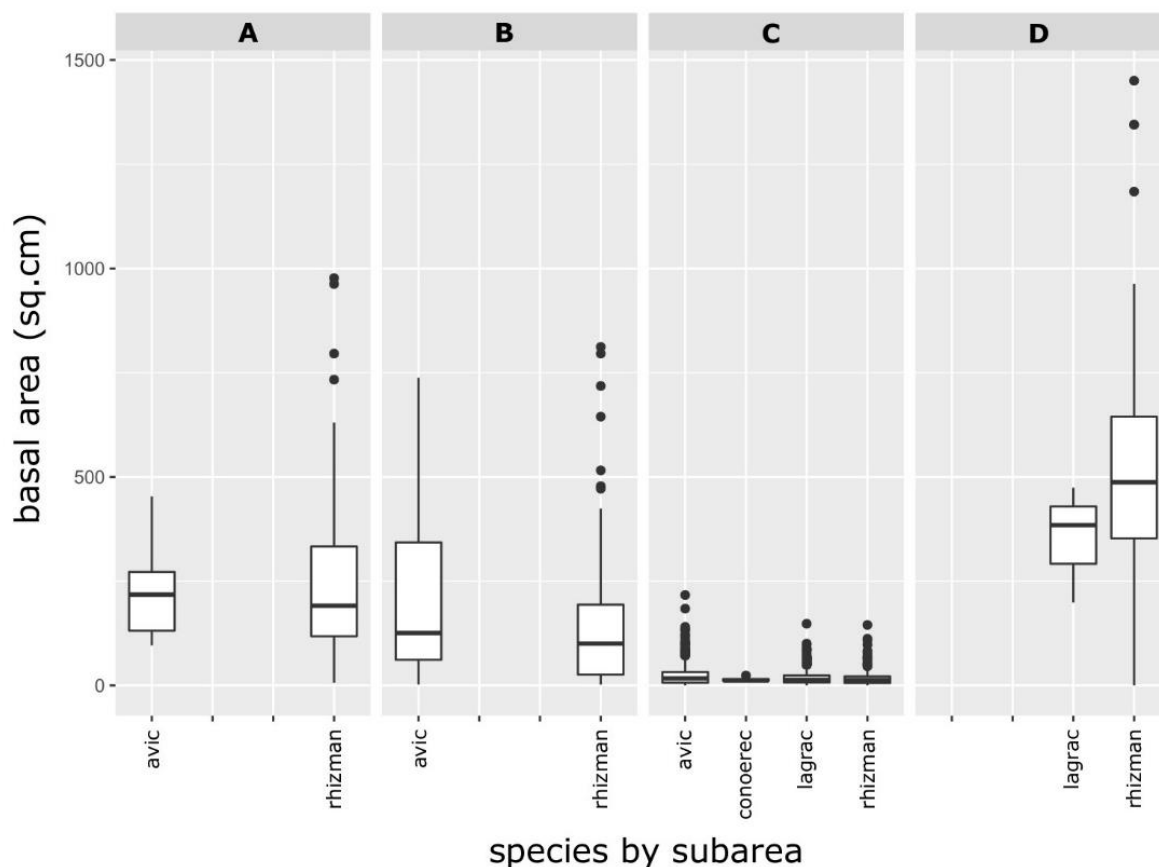
Figura 29 - Altura (m) dos indivíduos das espécies em cada área. O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). avic = *Avicennia* spp. conoerec = *Conocarpus erectus*. lagrac = *Laguncularia racemosa*. rhizman = *Rhizophora mangle*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Na comparação de altura (Fig. 29), o que se destaca mais é a grande diferença entre os indivíduos de *Rhizophora mangle* da Área D, onde mais de 50% dos indivíduos tem altura acima de 30 m, e os de todas as outras áreas. Notável também é que os valores extremos em Área C se aproxima os de Área B; todas estas duas áreas estão em regeneração, se bem que Área B tem 50 anos, e Área C 25 anos, nesta fase. Visto assim a altura entre estas duas áreas diferenciam menos que o diâmetro (Fig. 28). Os valores de altura em Área A (conservada) são apreciavelmente maiores em ambas as espécies do que em Área B.

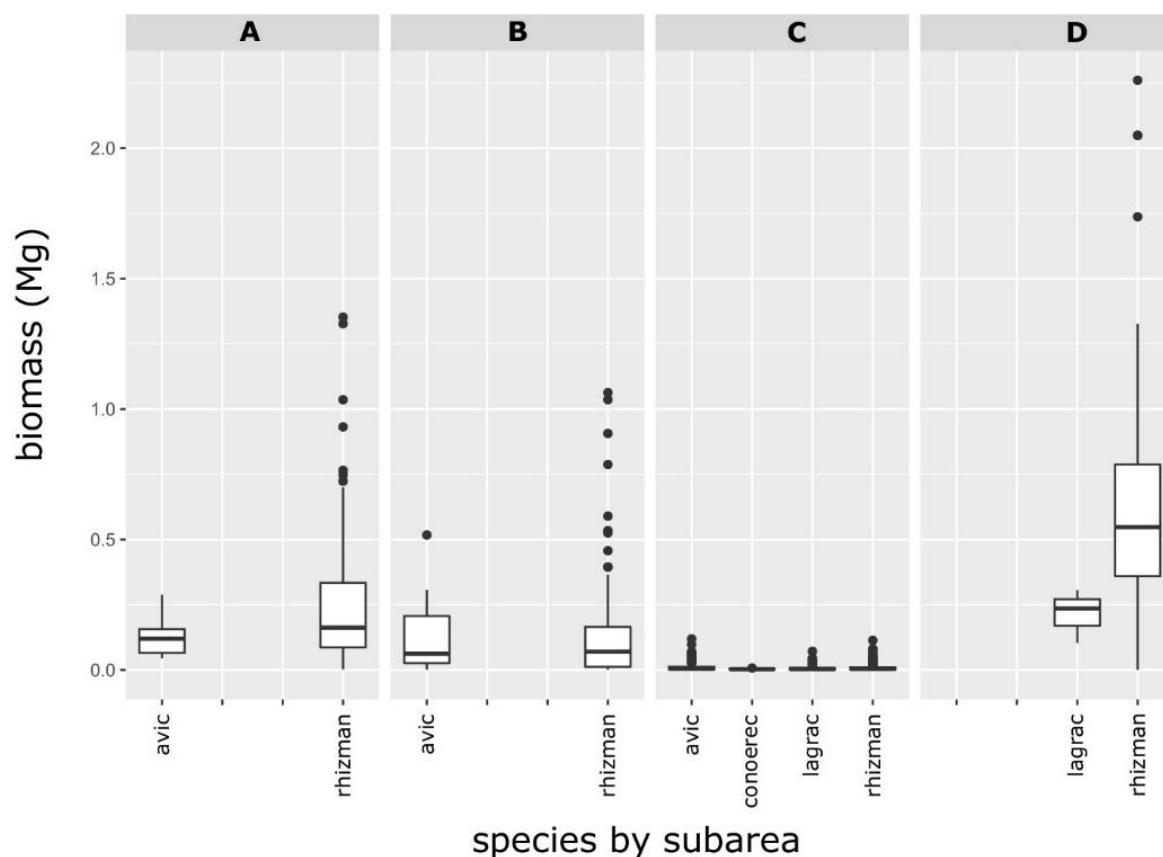
Figura 30 - Área basal (cm<sup>2</sup>) dos indivíduos das espécies em cada área (todas de 0.3 ha). O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers").



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Em área basal dos indivíduos (Fig. 30), os valores em Área C são os mais baixos em todas as espécies. Há um aumento apreciável em área basal em *R. mangle* desde Área B até Área A. Essa diferença é também aparente em *Avicennia* spp., se bem que o pequeno número de indivíduos desta espécie em Área A faz com que esta diferença seja somente provisória neste taxon. As áreas basais em *Laguncularia racemosa* e *R. mangle* são apreciavelmente maiores dos outros em Área D.

Figura 31 - Biomassa (Mg) dos indivíduos das espécies em cada área (todas de 0.3 ha). O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). avic = *Avicennia* spp. conoerec = *Conocarpus erectus*. lagrac = *Laguncularia racemosa*. rhizman = *Rhizophora mangle*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Nos valores de biomassa por indivíduo (Fig. 31), a população de *R. mangle* da Área D se destaca pela magnitude dos valores, como nos outros parâmetros, e os valores de todas as espécies em Área C são muito menores. O aumento em biomassa em *R. mangle* entre Área B e Área A é notável. Esta espécie demonstra sua dominância nas duas áreas conservadas (A D) quando comparada com os valores das espécies nas duas áreas em regeneração (B, C).

### Comparação dos quatro bosques de mangue deste estudo no contexto de bosques de outras áreas, usando análises multivariadas.

Tabela 2 (veja Apêndice) apresenta o conjunto de dados agregados a partir da busca na literatura, e anexados aos dados do presente estudo. Este conjunto foi sujeito às análises KNN e ACP descritas anteriormente na seção sobre Materiais e Métodos.

### Classificação dos bosques

Os resultados das análises KNN são apresentados em Tabela 11. A classificação de Magris e Barreto (2010) foi a mais consistente, com número menor de atribuições erradas, medido pelo teste de validação cruzada (15.4%), e foi usada para ajudar na interpretação da análise de componentes principais.

Tabela 11 - Porcentagem de atribuições incorretas pela validação cruzada usando classificação computacional "*k-nearest neighbour*" em quatro categorizações de manguezais. Veja texto para maiores detalhes.

	Schaeffer-Novelli <i>et al.</i> (1990)	Maia <i>et al.</i> (2005)	Magris e Barreto (2010)	Estado de conservação
Porcentagem de atribuições incorretas pela validação cruzada	56,4	46,2	15,4	25,6

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

A análise de componentes principais (PCA) abrangeu 81,6% da variação total nos primeiros três eixos (eixo 1: 50,95%, eixo 2: 20,31%, eixo 3: 10,38%), e destes apenas os primeiros dois foram considerados significantes através do teste "broken stick".

Figura 32 mostra os 39 bosques de mangue distribuídos pelo espaço formado pelos primeiros dois componentes principais, cada um com seu nome (veja Tabela 2 para maiores explicações dos códigos). Os sítios de cor laranja são de Guiana Francesa, de cor preta são da categoria "macrotidal" (altas marés, MAGRIS; BARRETO, 2010) do Pará e de Maranhão, e de cor verde da categoria "mesotidal" (marés de tamanho médio) são de sítios localizados ao longo da costa brasileira desde o Piauí até Sergipe. Uma progressão geográfica é evidente ao longo do primeiro eixo, exceto Área C, do presente estudo, que se encontra entre os bosques "mesotidal". As três categorias de bosque exibem uma variação similar ao longo do segundo eixo, mas sem muita diferenciação, embora os sítios de Guiana tenham valores geralmente maiores.

Na Fig. 33 o "biplot" mostra a importância de cada variável na determinação da posição dos bosques ao longo dos dois eixos. Duas características expressam a importância da variável:

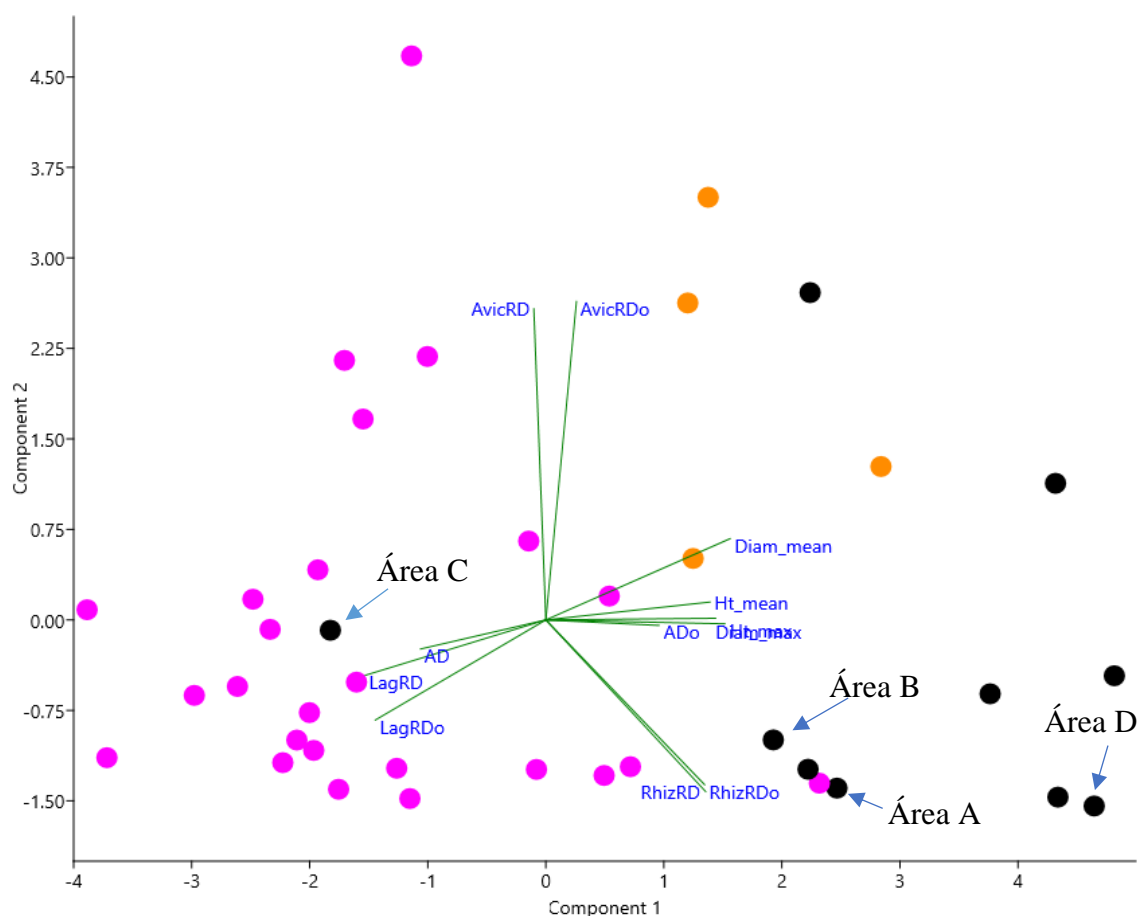
o comprimento e o ângulo da linha representando a variável. No *biplot*, variáveis que tem linhas mais compridas e mais paralelas a um dos eixos tem maior influência naquele eixo. Isso permite a interpretação seguinte: Os bosques de Guiana, Pará e Maranhão (laranja, preto) tem maior tamanho (diâmetro e altura maior), maior área basal (DoR) e uma proporção maior de *Rhizophora mangle*. Bosques de outras localidades no Nordeste brasileiro são caracterizados por tamanho menor, densidade maior (DA), e maior proporção de *Laguncularia racemosa*. A variação ao longo do segundo eixo ocorre em todas as três categorias; valores mais altos neste eixo indicam maior proporção de *Avicennia spp.* Baixos valores neste eixo indicam aumento em proporção de *L. racemosa*, mas esta influência é mais fraca, sendo que as linhas no *biplot* são mais curtas e menos paralelas ao segundo eixo.

No presente estudo, Área C é estruturalmente mais próxima aos bosques "mesotidal" do resto do Nordeste, e bem distinto das Áreas A, B e D, que se encontram agrupadas com bosques de Guiana, Pará e Maranhão. Como foi encontrado nas análises acima apresentadas, áreas A e B são mais similares, enquanto área D é mais similar ao bosque conservado e geograficamente próximo ao estudado por Meireles (2016) e a dois dos bosques reportados por Matni *et al.* (2006 em Bragança, Pará).





Figura 33 - Ordenação dos componentes principais de 39 bosques de mangue no Brasil e Guiana Francesa. As categorias da classificação de Magris & Barreto (2010) são indicados por cores – preto: "*macrotidal*", laranja: Guiana, magenta: "*mesotidal*". As linhas do biplot indicam a influência relativa (cargas) de cada variável nos eixos componentes principais (veja Tabela 2 para explicações dos códigos das variáveis). As setas indicam os pontos representando as quatro Áreas do presente estudo.



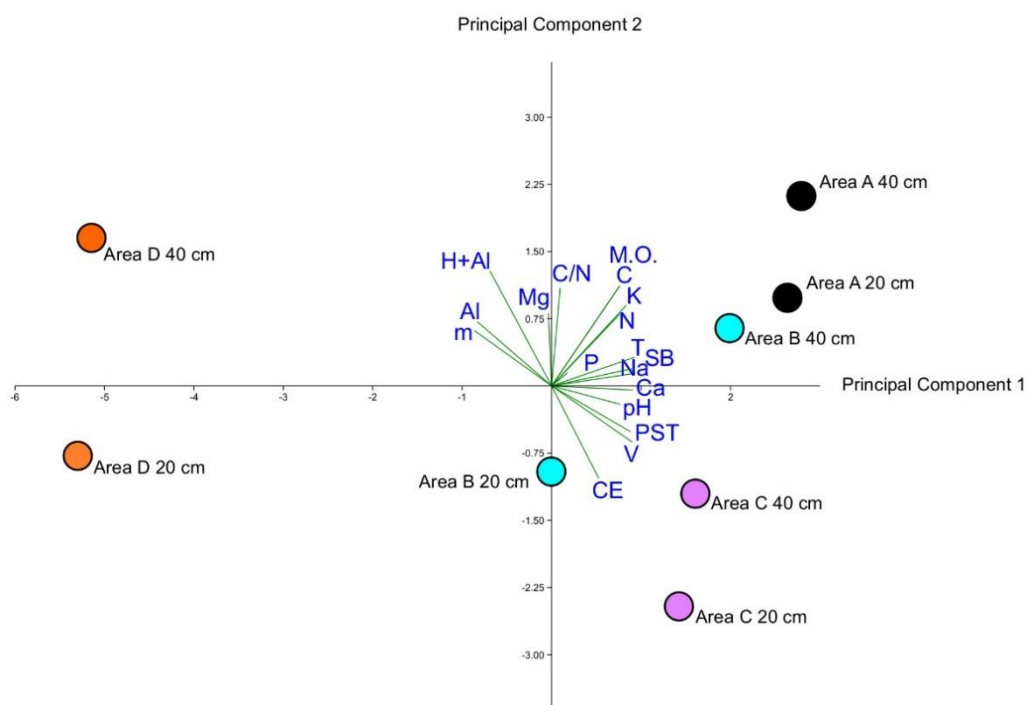
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

### Comparação físico-química dos solos das quatro áreas

Na análise de componentes principais das variáveis químicas (Fig. 34, Tabela 12), os primeiros dois eixos englobaram 75.8% da variação total. Áreas A, C e D foram distintas na ordenação nos dois primeiros eixos, mas as duas amostras de Área B, de profundidades diferentes, ficaram mais separadas entre si em relação às outras.

A diferenciação Área D das outras três áreas foram causadas por valores relativamente altos das variáveis H+Al, Al, e m, e menores que das variáveis Ca, Na, pH, SB, T, PST e V.

Figura 34 - Análise de componentes principais das variáveis químicas das amostras de solo das quatro áreas. Veja Tabela 12 para explicações maiores das variáveis.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Área C se diferenciou por valores relativamente altos das variáveis CE, V e PST, e relativamente baixos das variáveis m, Al, H+Al, Mg, C/N, M.O., C, K, e N, a diferenciação da Área A sendo causado pelo quadro inverso destas variáveis.

Em todas as áreas as amostras mais profundas (40 cm) tinham valores mais altos no segundo eixo, ou seja, com valores mais baixos de CE, V e PST, e mais altos em m, Al, H+Al, Mg, C/N, M.O., C, K, e N.

No caso de Área B, houve também uma diferenciação apreciável entre as duas amostras de profundidades diferentes no primeiro eixo: a amostra mais superficial (20 cm) tinha valores relativamente mais altos das variáveis H+Al, Al, e m, e relativamente mais baixos das variáveis Ca, Na, pH, SB, T, PST e V, quando comparada com a amostra de maior profundidade.

Tabela 12 - Variáveis químicas analisadas do solo dos quatro bosques de mangue estudados.

Área	Conservação	Profundidade (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	Complexo Sortivo (Cmolc/kg)							
					Ca	Mg	Na	K	H+A l	Al	SB	T
A	conserv	20	5,1	24,3	29,3	12,9	182,8	5,9	8,4	0,2	230,9	239,3
A	conserv	40	6	20,8	29,8	17,4	185,5	6,9	8,4	0,2	239,6	248,0
B	Regen	20	5,2	26,2	19,6	21,0	146,4	4,6	7,3	0,2	191,6	198,9
B	Regen	40	5,4	27,0	31,9	12,0	169,8	5,6	10,1	0,2	219,3	229,4
C	Regen	20	6,1	26,3	29,2	7,6	161,4	4,6	4,1	0,1	202,8	206,9
C	Regen	40	4,6	26,4	29,4	15,0	185,6	4,8	3,6	0,1	234,7	238,4
D	conserv	20	4,1	20,2	14,5	11,5	72,2	3,3	11,7	1,4	101,5	113,2
D	conserv	40	4	22,0	13,8	16,3	101,1	3,6	16,3	3,0	134,8	151,1

Legenda: conserv= área conservada; regen= área em regeneração; CE= condutividade elétrica; H+Al= acidez potencial; SB=soma de bases trocáveis; T=capacidade de troca de cátions total.

Fonte: Dados da Pesquisa (2021)

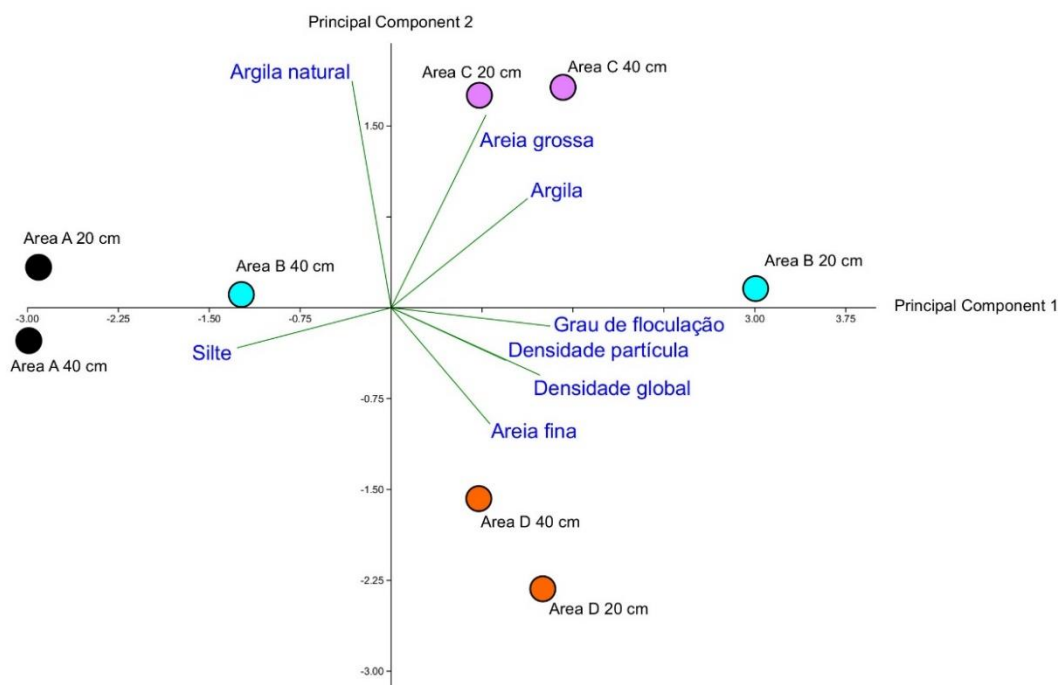
Área	Conservação	Profundidade (cm)	V	m	PST	C	N	M.O.	C/N	P (mg/kg)
			%			g/kg				
A	conserv	20	96,0	0,0	76,0	53,0	5,9	91,4	9,0	22,0
A	conserv	40	97,0	0,0	75,0	52,3	5,4	90,2	10,0	18,0
B	regen	20	96,0	0,0	74,0	45,4	4,9	78,2	9,0	11,0
B	regen	40	96,0	0,0	74,0	50,6	5,2	87,3	10,0	21,0
C	regen	20	98,0	0,0	78,0	44,6	4,8	77,0	9,0	17,0
C	regen	40	98,0	0,0	78,0	44,2	4,6	76,1	10,0	28,0
D	conserv	20	90,0	1,0	64,0	40,1	4,3	69,1	9,0	19,0
D	conserv	40	89,0	2,0	67,0	43,0	4,3	74,1	10,0	19,0

Legenda: conserv= área conservada; regen= área em regeneração; V= saturação por bases; m= saturação por alumínio; PST= porcentagem de sódio trocável; C= carbono; N= nitrogênio; M.O.= matéria orgânica; C/N= relação carbono e nitrogênio; P= fósforo.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Na análise PCA das variáveis físicas (Fig. 35, Tabela 13), os primeiros dois componentes principais englobam 84% da variação total, e as Áreas A, C e D se apresentaram como distintas, mas no caso de Área B, as duas amostras tem mostraram posições separadas no espaço dos dois eixos.

Figura 35 - Análise de componentes principais das variáveis físicas das amostras de solo das quatro áreas.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Área D se diferencia por valores relativamente mais altos de areia fina, e mais baixos em argila e areia grossa, enquanto os valores de Área C se mostram invertido, com baixos valores de areia fina e altos valores de argila e areia grossa. Área A é diferenciada por valores mais altos de silte e mais baixos de densidade e grau de flocculação. No caso de Área B, enquanto os valores da amostra mais profunda (40 cm) parecem mais com os de Área A, com maior valor de silte, a amostra mais superficial (20 cm) é caracterizada por valores mais altos em densidade e grau de flocculação.

Tabela 13 - Variáveis físicas analisadas do solo dos quatro bosques de mangue estudados.

Área	Conser- vação	Profun- didade	Classificação textural	Areia	Areia	Silte	Argila	Argila natural	Grau de floculação	Densidade global	Densidade partícula
				grossa	fina						
A	conserv	20	Franco siltosa	11	88	777	124	103	16	1,09	2,33
A	conserv	40	Silte	17	74	816	93	83	11	1,08	2,38
B	regen	20	Franco argilosa	103	168	330	399	73	82	1,19	2,55
B	regen	40	Franco siltosa	46	80	726	148	95	36	1,12	2,47
C	regen	20	Franca	124	271	338	267	122	54	1,11	2,43
C	regen	40	Franca argilosa	142	182	350	326	110	66	1,15	2,41
D	conserv	20	Franca	19	402	436	143	56	61	1,16	2,52
D	conserv	40	Franca	6	318	462	214	63	71	1,16	2,38

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

### Comparação físico-química da água dos Rios Água Doce e dos Poldros

O Rio Água Doce apresentou salinidade média de  $34,02 \pm 4,90$  ‰, que o coloca na classificação de águas salinas (igual ou superior a 30 ‰), conforme a resolução CONAMA 357/005, chegando ao valor mínimo de 20,00 ‰ durante o período chuvoso, temperatura acima de 28 °C durante todo o estudo e oxigênio dissolvido com média de  $2,45 \pm 0,62$  mg.L<sup>-1</sup> (Tabela 14). Quanto às propriedades ópticas da água, o rio apresentou transparência e profundidade com médias de  $0,72 \pm 0,20$  m e  $2,04 \pm 0,86$  m, respectivamente, mostrando-se um ambiente raso e com influência da variação de  $\pm 3$  m das marés da região (Tabela 14). O pH variou de 3,27 a 7,94, com menores valores no período chuvoso. A condutividade elétrica apresentou valor mínimo de 24,74 mS.cm<sup>-1</sup> em março no ponto 4 na maré baixa e máximo de 61,07 mS.cm<sup>-1</sup> em janeiro no ponto 6 na maré alta. Os maiores valores de condutividade ocorreram em janeiro de 2018 no início do período chuvoso, diminuindo ao longo desse período (Tabela 14).

Os sólidos totais apresentaram valor médio de  $32.896 \pm 13.834$  mg.L<sup>-1</sup>, com pico de 96.400 mg.L<sup>-1</sup> no período seco, no ponto 3 em julho/2017 na preamar. Para turbidez maiores valores foram observados no período chuvoso, chegando a 53,20 NTU no ponto 2 em maio/2018 na baixamar (Tabela 14). O N-NO<sub>2</sub> e o fósforo reativo solúvel mantiveram valores baixos durante todo o estudo, com máximo de 0,72 µg.L<sup>-1</sup> em janeiro/2018 no início do período chuvoso e 8,02 µg.L<sup>-1</sup> em setembro/2017 no período seco, ambos na preamar no ponto 3, respectivamente. A clorofila apresentou maiores valores no período seco, com pico de 59,52 mg.L<sup>-1</sup> no ponto 2, na baixamar em novembro/2017 (Tabela 14).

O Rio dos Poldros, no município de Araioses, apresentou valores bem próximos aos do Rio Água Doce, principalmente nas variáveis salinidade, com valor médio de  $31,64 \pm 7,84$  ‰ e

mínimo de 16,00 ‰ no período chuvoso, temperatura ( $>28$  °C), pH, que variou de 2,90 a 7,44 e teve menores valores no período chuvoso, assim como a condutividade com valor médio de  $33,58 \pm 9,11$  mS.cm<sup>-1</sup> (Tabela 14). Os sólidos totais, a turbidez e o N-NO<sub>2</sub> apresentaram valores maiores que o Rio Água Doce, com médias de  $34.776 \pm 12.104$  mg.L<sup>-1</sup>,  $20,07 \pm 13,39$  NTU e  $6,26 \pm 6,45$  µg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o fósforo reativo solúvel teve um pico de  $9,58$  µg.L<sup>-1</sup> na preamar, no mês de fevereiro/2018 e a clorofila a com  $99,93$  mg.L<sup>-1</sup> na baixamar, no mês de dezembro/2017, ambos no ponto 3 (Tabela 14).

Tabela 14 - Valores mínimos, médios, desvio padrão e máximos das variáveis físico-químicas da água dos rios Água Doce e dos Poldros, no período de julho/2017 a junho/2018, Maranhão, Brasil.

Variáveis	Rio dos Poldros				Rio Água Doce			
	Min	Med	DP	Max	Min	Med	DP	Max
PP (m)	0,00	84,19	109,98	384,60	0,00	84,19	110,32	384,60
SAL (‰)	15,00	31,70	7,84	45,00	20,00	34,02	4,90	40,00
TEMP (°C)	26,00	29,17	1,09	32,70	28,00	29,33	0,95	31,80
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	0,00	2,29	0,99	5,50	1,05	2,45	0,62	3,70
TRANSP (m)	0,23	0,46	0,17	1,00	0,22	0,72	0,20	1,32
PROF	0,30	1,25	0,80	2,75	0,30	2,04	0,86	3,50
PH	2,90	5,25	1,38	7,44	3,27	5,00	1,33	7,94
COND (mS.cm <sup>-1</sup> )	15,90	33,58	9,11	48,68	4,29	30,70	13,03	44,88
SOL (mg.L <sup>-1</sup> )	12000	34776	12104	79480	10900	32896	13834	96400
TUR (NTU)	6,04	20,07	13,39	75,60	3,81	10,46	7,30	53,20
N-NO <sub>2</sub> (µg.L <sup>-1</sup> )	0,00	6,26	6,45	33,67	0,40	0,47	0,05	0,72
PRS (µg.L <sup>-1</sup> )	2,31	3,12	1,14	9,58	4,74	5,73	0,59	8,02
CLA (mg.L <sup>-1</sup> )	0,00	6,51	14,59	99,93	0,00	9,02	14,71	59,52

Legenda: PP= precipitação pluviométrica; SAL= salinidade; TEMP= temperatura; OD= oxigênio dissolvido; TRANSP= transparência; PROF= profundidade; COND= condutividade elétrica; SOL= sólidos totais; TUR= turbidez; N-NO<sub>2</sub>=nitrito; PRS= fósforo solúvel reativo; CLA= clorofila a.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

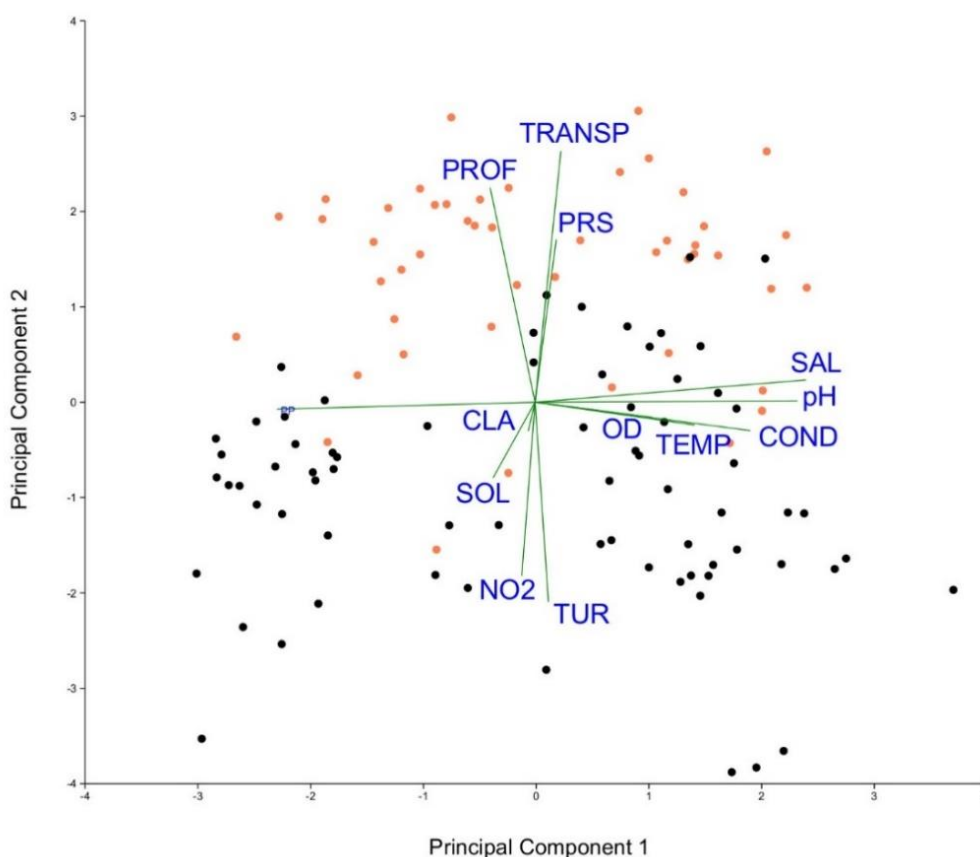
Áreas A e B são banhadas pelo Rio Água Doce (Fig. 4) como principal corpo d'água responsável por trazer as marés aos bosques de mangue, e Áreas C e D tem a mesma relação com o Rio dos Poldros (Fig. 7).

A comparação limnológica resultou nos valores apresentados em Tabela 15 (veja Apêndice). Na ACP (com dados escalonados), houve menos concentração da variância nos primeiros eixos, o que significa que houve menos correlação entre as variáveis. Os dois primeiros componentes principais englobaram 40.6% da variância total (Fig. 36).

A separação das águas dos dois rios não parece muito forte nesta ordenação da PCA, mas precisa se levar em conta que o gráfico apresenta a variação em somente dois componentes, e que 60% da variação não é visualizada aqui. O resultado do teste de validação cruzada da análise discriminante (LDA, veja adiante) apresenta uma ideia melhor desta diferença.

O *biplot* mostra que, no espaço dos primeiros componentes principais, as variáveis mais influentes em separar as águas dos dois rios são PROF, TRANSP e PRS, que tem valores mais altos no Rio Água Doce, e NO<sub>2</sub>, TUR e SOL, que tem maiores valores no Rio dos Poldros.

Figura 36 - Análise de componentes principais (ACP) de amostras da água do Rio Água Doce (pontos cor de laranja) e do Rio dos Poldros (pontos pretos). Biplot mostra a influência das variáveis (linhas verdes) nos valores ao longo de cada componente principal. Veja Tabela 15 (Apêndice) para explicação dos nomes das variáveis.



Legenda: PP= precipitação pluviométrica; SAL= salinidade; TEMP= temperatura; OD= oxigênio dissolvido; TRANSP= transparência; PROF= profundidade; COND= condutividade elétrica; SOL= sólidos totais; TUR= turbidez; N-NO<sub>2</sub>=nitrito; PRS= fósforo solúvel reativo; CLA= clorofila a.

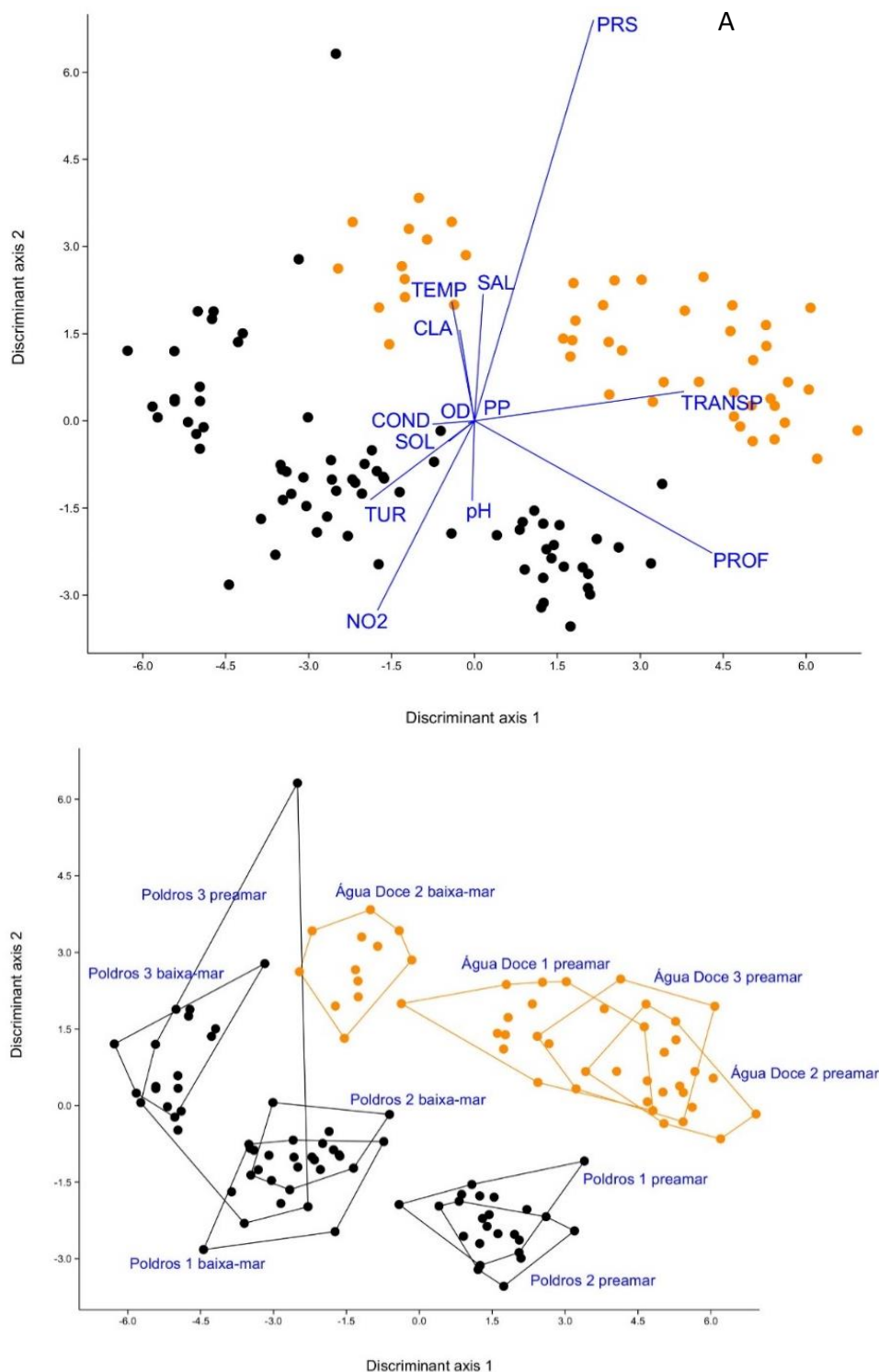
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Na análise discriminante (LDA), o teste de validação cruzada (jackknife) entre os dois grupos representados pelas amostras dos dois rios resultou em 95,83% classificação correta, o que significa que os valores das variáveis, quando considerados em conjunto, foram bem distintos, e quase sem superposição. Esta característica é também evidente na ordenação (Fig. 37), onde os 10 grupos de observações são visualizados (Fig. 37B). O *biplot* (Fig. 37A) mostra que a água do Rio Água Doce se diferencia por mais altos valores de PRS, SAL, TEMP, CLA e TRANSP, enquanto a do Rio dos Poldros é caracterizada por maiores valores de TUR, NO<sub>2</sub> e pH.

O primeiro eixo é influenciado principalmente por TRANSP e PROF, e são essas variáveis que tem maior peso na diferenciação dos valores preamar e baixa-mar no mesmo local (Fig. 37B).



Figura 37 - Análise de discriminante linear (LDA) de amostras da água do Rio Água Doce (pontos cor de laranja) e do Rio dos Poldros (pontos pretos). A. Biplot mostra a influência das variáveis (linhas azuis) nos valores ao longo de cada eixo discriminante. B. Os grupos mostram os locais de amostragem (enumerados), em preamar ou baixa-mar, durante 12 meses (pontos individuais). Veja Tabela 15 (Apêndice) para explicação dos nomes das variáveis.



Legenda: PP= precipitação pluviométrica; SAL= salinidade; TEMP= temperatura; OD= oxigênio dissolvido; TRANSP= transparência; PROF= profundidade; COND= condutividade elétrica; SOL= sólidos totais; TUR= turbidez; N-NO<sub>2</sub>=nitrito; PRS= fósforo solúvel reativo; CLA= clorofila a.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

## DISCUSSÃO

### A diversidade (tipologia) dos bosques de mangue

Em se tratando do Estado do Maranhão, este insere-se numa área de transição entre o Nordeste (cerrado) e a região amazônica (MARTINS; OLIVEIRA, 2011), apresentando manguezais com fisionomias diversificadas. No entanto, as pesquisas realizadas em áreas de manguezais conservadas e em regeneração devido a ações antrópicas têm considerado aspectos descritivos, qualitativos e quantitativos que revelam florestas com grande heterogeneidade estrutural, funcional e energética, como pode ser verificado por (FROIS-ABREU, 1939; DAMÁZIO, 1980a e b; HONAISSER, 1993; MOCHEL, 1993; 2002; 2009; COSTA *et al.*, 2006; FONSECA; MOCHEL 2016). À medida que os manguezais não sofram desmatamentos de larga escala, e que o extrativismo permaneça em níveis que poderiam ser vistos como toleráveis para a sustentabilidade do ecossistema, o impacto humano pode ser considerado como mais um fator que contribuiu para a heterogeneidade e diversidade estruturais dos manguezais, já que se trata de um sistema tão dinâmico.

A comparação da vegetação das quatro áreas entre si (Figs. 21, 23, 27-31) e no contexto de outros estudos (Figs. 32-33) mostrou que as duas áreas próximo ao Rio Água Doce (Áreas A, B) são parecidas enquanto que as ao lado do Rio dos Poldros são muito diferentes. As duas áreas conservadas, A e D, não apresentaram fortes similaridades estruturais e também não as duas áreas em regeneração, B e C.

Em Água Doce do Maranhão, na área em regeneração, as plantas viventes apresentam troncos levemente retorcidos, copa pouco densa, raízes pneumatóforas que auxiliam na realização de trocas gasosas nestes ambientes, altura média de 8,8 m, enquanto na área conservada a altura média foi de 12,9 m. Para Araiões, suas áreas sofrem influência maior das correntes marinhas e carreamento de sedimentos. A floresta de mangue na área de salina apresenta 5,1 m de altura, enquanto a floresta de mangue conservado apresenta média de 31,7 m de altura. Individualmente, *Rhizophora mangle* apresentou os maiores valores de altura, destaque para indivíduos da Ilha dos Poldros (D), onde registrou-se a marca de 45m de altura mensurados em campo em árvore caída no chão. Ao compararmos, Simard *et al.* (2019), utilizando imagens de satélite, apontam que em Gabão, os bosques de manguezal chegam à marca de 62,8 m. Os mesmos autores ainda estimaram estes dados, obtidos de imagens de satélite, sendo que valores para o Brasil, em áreas do Pará, foram de 40,7 m. Os dados do presente estudo superam, portanto, os apresentados por aqueles autores, e corroboram a

impressão dada por Figura 32 que os bosques de mangue mais altos do Delta são mais parecidos aos de Pará (p.e. Matni *et al.* 2006).

Com relação às características pedológicas, Áreas A, C e D apresentaram, cada uma, padrões distintos na análise multivariada (Figs. 34, 35), enquanto que Área B mostrou uma diferenciação maior entre as duas amostras (20 cm e 40 cm de profundidade), e um padrão divergente para a amostra de 20 cm, em comparação aos outros pontos da ordenação. As águas dos dois rios mostraram uma clara diferença multidimensional (Figs. 36, 37).

Portanto, os resultados deste estudo não verificaram a primeira das hipóteses apresentadas na Introdução sob o título "Objetivos do presente trabalho". A heterogeneidade dos tipos de bosque de mangue não permite a conclusão geral que florestas maduras e conservadas são necessariamente parecidas, no seu perfil estrutural. Diferenças entre elas são determinadas não somente pela sua história, mas também por características químicas e físicas do solo, d'água, dos regimes das marés, e pela sua posição geográfica dentro da região deltáica.

Quanto á segunda hipótese, o estudo mostra que a quantidade de biomassa é consideravelmente maior em floresta alta e conservada, onde as árvores tem troncos de diâmetro maior. A maior parte da biomassa estimada neste estudo foi retida nas Áreas D e A, e até mais da metade somente em Área D (Tabela 4).

Uma vez estabelecido que as quatro áreas representam tipos distintos de bosque de mangue, surge a questão de se a diversidade de tipos de floresta de mangue do Delta possa ser representada por somente estes quatro tipos. Comparando estes resultados com os dos outros estudos realizados no Delta pode se fazer as seguintes considerações.

Meireles (2016) estudou dois bosques de mangue na Ilha das Canárias, a leste do Rio dos Poldros (Fig. 2) e a área preservada (Tabela 2, "Meireles 2016 padr", veja Apêndice) é parecida à Área D do presente estudo (Fig. 32), os dois pontos sendo próximos; ambas se apresentam como altos manguezais compostos quase exclusivamente por árvores de *Rhizophora mangle*. Por outro lado, a área antropizada ("Meireles 2016 antrop") se encontra em posição bem diferente do espaço da ordenação (Fig. 32) onde a floresta é caracterizada pela prevalência de espécies de *Avicennia*. Este local apresenta um tipo de manguezal diferente das áreas estudadas no presente trabalho, e pode ser considerado o resultado do impacto de extrativismo em floresta alta, impactos que não incluíram desmatamentos, mas sim extração de troncos individuais; isto é evidenciado pela altura média mais baixa na área antropizada (12,9 m e 21,0 m na área preservada), enquanto que as alturas máximas das duas áreas não são muito diferentes (32,0 m e 35,0 m respectivamente).

Deus (2000) e Deus *et al.* (2003) estudaram três tipos diferentes de bosque de mangue no Piauí, na parte leste do Delta, próximo ao Rio Igarçu, o segundo maior distributário ativo do sistema deltaico (SILVA *et al.*, 2019). A estrutura da área "Preservada" é parecida a Área A do presente estudo, de acordo com o PCA (Fig. 32), embora se diferencia desta pela presença significativa de *Laguncularia racemosa*. A área "Salina" se aproxima da Área C do presente estudo, com dominância de *L. racemosa* e pouca presença de *R. mangle*. Porém, a área "Corte Raso" se diferencia das áreas do presente estudo, e pode ser caracterizada como um manguezal de estatura baixa no qual predomina as espécies de *Avicennia* e no qual *R. mangle* tem pouca importância. As três áreas estudadas por Araújo *et al.* (2018) são do mesmo setor do Delta, e se parecem a área "Corte Raso", tendo em comum seu desenvolvimento a partir de um desmatamento total.

Esboçando, pode se dizer que estes estudos, inclusive o presente, tem estabelecido em linhas gerais pelo menos cinco tipos diferentes de bosque de mangue: 1) estatura alta, conservado, e dominado quase exclusivamente por *Rhizophora*; 2) estatura alta, sujeito a extrativismo com prevalência de *Avicennia spp.*; 3) estatura média, com predominância de *Rhizophora* sobre *Avicennia* (tanto conservado como em regeneração após desmatamento); 4) estatura baixa, com predominância de *Laguncularia* sobre *Avicennia* (tanto conservado como em regeneração após desmatamento); 5) estatura baixa, com predominância de *Avicennia* sobre *Laguncularia* (tanto conservado como em regeneração após desmatamento); nestes dois últimos tipos, *Rhizophora* tem pouco destaque.

A análise de bosques de mangue apresentada nas Figs. 32 e 33 se baseia somente em variáveis fitossociológicas, e não inclui características do solo ou da água. Com dados mais completos à disposição, seria possível definir uma gama mais larga de tipos de manguezal na região do Delta. Isso seria um objetivo desejável em vista da necessidade de um mapeamento mais detalhado desta vegetação. Além destas considerações, sobra ainda para estudos estimativas da extensão dos manguezais em vias de morrer ou já mortas, tão evidentes na Ilha dos Poldros.

Uma tipologia mais detalhada dos bosques de mangue do Delta será uma ferramenta valiosa para melhor estudar a dinâmica desta vegetação na dimensão temporal, tanto com relação a processos naturais como a perturbações antrópicas. Com relação ao parâmetro biomassa, fica claro que florestas altas retêm a maior parte da densidade da biomassa. Estimativas da extensão deste tipo de mangue a partir de imagens de satélite é assim importante para avaliar o funcionamento do ecossistema deltáica como estoque de carbono e de biomassa florestal. Apesar dos constantes melhoramentos no monitoramento de manguezais através da

tecnologia de imagens de satélite (SIMARD *et al.* 2019), a necessidade de comprovação por trabalhos em campo continua, e este objetivo implica amostragem maior e mais detalhada dos manguezais do Delta.

Um outro aspecto da diversidade dos bosques de mangue brasileiros tem sido revelado em anos recentes pelos trabalhos de Mori (2013), Mori *et al.* (2015a, 2015b), Cruz *et al.* (2019), Cruz *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2020), que investigaram a diferenciação populacional em espécies arbóreas de manguezal na base de dados moleculares. O potencial desta linha de pesquisa é grande, e tem revelado diversidade tanto em escala maior, como menor, ligada a fatores ecológicos e climáticos, envolvendo hibridização, filogenia e plasticidade morfológica. Por exemplo, Cruz *et al.* (2019) relataram que mudas de *A. schaueriana* da costa norte do Brasil com fortes chuvas sazonais apresentaram folhas menores quando comparadas as de regiões subtropicais menos sazonais da costa leste do Atlântico, além de outras diferenças morfofisiológicas e genéticas. Eles interpretaram isso como evidência de maior estresse hídrico nos indivíduos tropicais, implicando uma resposta de tamanho comparável à relatada por Soto e Corrales (1987) registrado para *A. germinans*.

### **Diversidade das espécies e táxons vernaculares**

No estudo do qual este capítulo faz parte, é registrado pela primeira vez a ocorrência de *Avicennia schaueriana* na região do Delta (Nascimento *et al.* 2021). Como discutido no trabalho citado, sugere-se posterior abordagem etnoecológica ou etnotaxonômica com a finalidade investigativa acerca dos pontos de ocorrência, distribuição e usos desta espécie e de *A. germinans*, visando melhor caracterização, inclusive possíveis pressões de uso sofridas por estas espécies.

Daniel (2016) reportou três espécies de *Avicennia* comumente ocorrentes na América do Norte e central, sendo *Avicennia germinans* como a espécie mais bem distribuída no Novo Mundo. Na América Central, ao sul de Belize, a extensão das comunidades de manguezais e a abundância de *A. germinans* são melhor desenvolvidas ao longo do Pacífico do que da costa do Caribe (MCMILLAN; SHERROD, 1986, CAVANAUGH *et al.* 2014). Segundo o mesmo autor (DANIEL, 2016), a variação morfológica nesta espécie é considerável, especialmente no que diz respeito ao hábito e ao tamanho e forma da folha. Embora seja comumente uma árvore, *A. germinans* torna-se um arbusto anão na extensão norte de sua faixa no Golfo do México (MCMILLAN; SHERROD, 1986). No presente estudo, foram reportadas duas espécies de *Avicennia*, *A. germinans* e *A. schaueriana*, sendo esta última o primeiro registro para a região. Meireles *et al.* (2018), em estudo etnotaxonômico, relataram que *A. germinans* tem os nomes

vernaculares *mangue-preto*, *siriba* ou *sereiba* ou *mangue-siriba* e *mangue-canoé*, sendo utilizadas para apetrechos de pesca, construção de casas, construção de barcos e produção de carvão vegetal (MEIRELES 2012, 2016, MEIRELES *et al.*, 2017). Nas áreas estudadas, os nomes vernaculares foram compatíveis aos citados, no entanto foram empregados em sentidos opostos nos dois municípios, sendo nossos informantes de comunidades diferentes em cada caso. Além disso, apesar da proximidade da localidade de estudo das Araioses com os apresentados por Meireles *et al.* (2017, 2018), os nomes vernaculares relatados para *A. germinans* não incluíam *siriba branca*, sugerindo que a mesma espécie é reconhecida por nomes vernaculares distintos a depender da localidade. Apesar desta inconsistência do uso de nomes entre áreas, há consistência local, como indicado pelo estudo morfométrico das folhas em *Avicennia* (NASCIMENTO *et al.*, 2021), sugerindo que especialistas locais estão utilizando combinações de caracteres ainda não bem esclarecidas. Dado o seu potencial para futuros trabalhos, se faz necessário um estudo etnotaxonômico mais profundo dos táxons vernaculares de mangue.

As fisionomias das áreas de manguezal vão de áreas de Salgado, visto o uso anteriormente por salinas, atualmente desativadas; apicuns que são de difícil visualização por imagem de satélite, mas observadas *in situ*. Nas zonas de transição rio/Delta são registradas espécies rasteiras, como gramíneas, e subarbusto como *Conocarpus erectus*, espécie indicadora de antropização, de fácil reconhecimento pelas práticas de turismo e pesca na região (Fig. 14B). *Conocarpus erectus*, conhecida na região como mangue-de-botão, também foi citada nos estudos de El-Robrini *et al.* (2006), Espig *et al.* (2007), bem como para a região da APA, por Meireles (2012), Araújo (2013) e Meireles *et al.* (2018), como sendo impreteríveis ao uso pelas comunidades de pescadores que delas tiram sua sobrevivência (SOUTO, 2008).

Essas características conferem peculiaridade fisionômica própria desse ecossistema, principalmente, quando comparado à fisionomia das florestas de terra firme. Apesar de apresentar quantidade expressiva de indivíduos em áreas de manguezal, como apresentado em Flora do Brasil 2020 (2020) com o total de 67 gêneros e 93 espécies ocorrentes no ecossistema manguezal distribuídos nos diversos hábitos e grupos botânicos; estudos realizados neste ecossistema e em distintas regiões do Brasil tem registrado pouca diversidade de espécies arbóreas, 23 gêneros e 23 espécies (Flora do Brasil 2020, 2020) e apontado em diversos estudos (SANTOS *et al.*, 2012; OLIVEIRA; TOGNELLA, 2014; ALMEIDA *et al.*, 2014; BERNINI *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2016; LOURENÇO *et al.*, 2017; GONÇALVES *et al.*, 2018).

### Composição proporcional das espécies em bosques de mangue

Em estudos realizados para o Estado do Maranhão, não é incomum serem registradas espécies de *Rhizophora* (*R. mangle* e *R. racemosa* G.Mey) (IBGE, 2012; GONÇALVES *et al.*, 2018; Flora do Brasil 2020, 2020) como as mais expressivas. Trabalhos como os de Paraguassu e Silva (2007), Santos *et al.* (2012), Silva *et al.* (2016) e Lourenço *et al.* (2017) também registraram predominância de *Rhizophora mangle*. Na área de estudo a ocorrência desta espécie foi expressiva (Tabela 4 e 5), exceto na área em etapa de regeneração mais recente (Área C), onde a predominância tenha sido de *Laguncularia racemosa* em número de indivíduos (1276), corroborando com Londe *et al.* (2013) e Bernini *et al.* (2014) que registraram esta espécie como a mais frequente. Esta espécie contribuiu com o maior número de indivíduo em áreas em regeneração, por apresentar tolerância intermediária entre *R. mangle* e *A. germinans* (CITRON; SCHAEFFER-NOVELLI, 1983).

Acredita-se que o nível de inundação pode agir diretamente na dominância das espécies neste ecossistema. Apoiando este raciocínio, Deus *et al.* (2003) relacionaram a dominância da *A. germinans*, em uma área degradada pela construção de salinas em trecho de manguezal adjacente ao rio Igarçu e a sua capacidade adaptativa ao ambiente fortemente salino durante processo recolonização. Araújo *et al.* 2018, comentaram a relação sucessional de indivíduos de *Rhizophora* após estágio de desenvolvimento uma floresta mista de *A. germinans* e *L. racemosa*, corroborando com (Berger *et al.*, 2006). Seguindo este raciocínio, remetemos a composição da área C (em regeneração), onde o aumento da densidade de *L. racemosa* pode ser uma consequência da remoção de *Rhizophora*, particularmente há 25 anos em virtude instalação de valas para produção e extração de sal, nesta área.

Paralelo a isto, tem-se o destaque para a área conservada em Araisos que é 98,14% composta por *R. mangle*. Áreas de mangue com este percentual enquadram-se como monoespecífica, também sendo ressaltadas em estudos de Soares (1999) e Bernini e Rezende (2004) em manguezais do litoral do rio Paraíba, Rio de Janeiro e, costa norte do Brasil, incluindo o delta de Parnaíba, relataram o dominância *R. mangle* em manguezais conservados, localizados às margens de rios, próximos a marés, em áreas de estuário, inclusive em Ilhas (SANTOS *et al.*, 1997; DEUS 2000; DEUS *et al.*, 2003; MATNI *et al.*, 2006; SOUZA; SAMPAIO 2013; MEIRELES, 2016; MEIRELES *et al.*, 2018). Soares *et al.* (2017), comenta que esse padrão é caracterizado por uma tendência geral à dominância de *R. mangle* próximo à margem do rio Piracão, enquanto *A. schaueriana* entre a margem e o plano salino e *L. racemosa* mais próximo ao plano salino, dados estes que corroboram com os aqui apresentados.

*Avicennia* e *Laguncularia* são dois gêneros bem distribuídos ao longo da faixa costeira da Amazônia setentrional, incluindo a Guiana Francesa (BEZERRA, 2005; IBGE, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2014). Espécies de *Avicennia* distribuem-se de acordo com a latitude, enquanto *Laguncularia* desenvolve em locais com maior altitude, além de crescerem em solos mais firmes, estando em contato direto com a preamar. *Laguncularia racemosa* é tipicamente mais dominante onde os manguezais estão se regenerando ou onde há algum fator presente que interfere na sucessão em direção a uma floresta dominada por *R. mangle* ou *Avicennia* (SOUZA; SAMPAIO 2013). Demais estudos para o nordeste relatam a ocorrência destas espécies, podendo ser citados para o estado da Bahia (PARAGUASSU; SILVA, 2007), Paraíba (SILVA *et al.*, 2016), Pernambuco (ALMEIDA *et al.*, 2014), Piauí (DEUS *et al.*, 2003; ARAÚJO *et al.*, 2018), Sergipe (SANTOS *et al.*, 2012) e para Maranhão (MEIRELES 2016; MEIRELES *et al.*, 2017; 2018).

Os padrões de distribuição das espécies mostraram semelhanças, que foram expressos em termos de número de indivíduos e densidade nas áreas estudadas. *R. mangle* foi mais abundante nas áreas com forte influência das marés, em contrapartida *A. germinans* apresentou menor abundância nesses locais. Costa *et al.* (2015) analisaram a distribuição das espécies e os padrões estruturais das florestas de mangue ao longo de três estuários tropicais na Baía de Todos os Santos, nordeste do Brasil, e relataram que *R. mangle* e *A. schaueriana* tendem a dominar locais sob maior influência marinha (estuário inferior), enquanto *A. germinans* e *L. racemosa* áreas dominadas sob maior influência de água doce (estuário superior).

### **Clima e mudanças ambientais**

Pool *et al.* (1977) demonstraram a relação direta entre desenvolvimento estrutural em bosque de manguezal e índice de precipitação para manguezais no Caribe. Neste estudo, foi observado que o clima pode estar relacionado com o desenvolvimento da floresta, tendo significativamente o porte mais elevado dos bosques nas áreas de maior precipitação, como é o caso das áreas de Araíoses, visto que sofrem diretamente influência das Zona de Convergência Intertropical.

Para a região, apesar do ciclo sazonal apresentado ser típico para a região (SILVA *et al.*, 2015), caracterizado por dois períodos, chuvoso e seco, foi observado rápido aumento na precipitação de dezembro a janeiro, atingindo o máximo em abril, seguido de diminuição rápida até junho e praticamente ausente nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro, durante o estudo. O mês de fevereiro foi o que apresentou maior precipitação (384,6 mm), com valor bem acima da média histórica. Segundo o Infoclima (2018), a formação de episódios de Zona



de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que ocorre nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil e vórtices ciclônicos na alta troposfera, com atuação mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e a passagem de pulsos de oscilações intrassazonais foram os principais mecanismos favoráveis ao aumento das chuvas no decorrer de fevereiro de 2018. Somados a isto, os dados corroboram com os apresentados por Nascimento *et al.* (2019), em que mostram na série histórica de 1962 a 2017, períodos secos e chuvosos constantes e bem definidos, o que poderia denotar um decréscimo da precipitação em anos mais recentes, visto a mudanças nos períodos de chuva, inclusive, nas correntes marítimas.

Para Costa e Cutrim (2021) as diferenças sazonais no delta do rio Parnaíba é o fator regulador mais importante das características físicas e químicas, como a salinidade, pH, oxigênio dissolvido, sólidos totais e temperatura. Neste estudo foi observado também a interferência da sazonalidade na profundidade, transparência, turbidez, fósforo solúvel reativo e nitrito nos rios, com a variação de maré influenciando apenas os valores de profundidade e transparência. Aquino da Silva *et al.* (2015) destacam que o carreamento de sedimentos para o corpo d'água e o efeito de diluição com o aumento do volume de água no período chuvoso podem favorecer as alterações na dinâmica do rio.

Ao comparar o Rio Água Doce com os dos Poldros foi possível observar que a disponibilidade de fósforo solúvel reativo, e nitrito, sólidos totais e turbidez na água foram, respectivamente, as principais diferenças em relação às variáveis estudadas em cada rio. Barcelos *et al.* (2019) relacionaram a disponibilidade de PRS à quantidade de biomassa vegetal na região, que quando decomposta, se deposita no solo e transfere para a água o PRS que é reabsorvido pelas plantas, fazendo assim o ciclo de auto eutrofização do manguezal.

Valladares *et al.* (2019) observaram que as diferenças de pH geradas pela formação da água salobra proporcionam, a cada período de maré cheia, a floculação ou precipitação de argilas em suspensão, resultando na deposição de material escuro e lamacento, rico em matéria orgânica. Essa disponibilidade de nutrientes gerada pela decomposição e reabsorção de matéria orgânica na água sofre interferência também da biomassa vegetal de cada área, que também é indicada pelas diferenças de composição, grau de floculação e classificação textural do solo.

As áreas A e B (40 cm) apresentaram mais silte e menos densidade e grau de floculação, que pode resultar em uma menor retenção de água no solo. A área B (20 cm) com maior densidade e grau de floculação acaba retendo mais água, assim como a área C que por ter mais argila e areia grossa, retém mais matéria orgânica. Lima *et al.* (2020) ao estudarem os solos das unidades de paisagem do delta do Parnaíba observam a predominância de depósitos de manguezais na região que são constituídos por sedimentos argilosos, plásticos e inconsistentes,

ricos de matéria orgânica, restos de madeira e conchas. Já a área D sofre influência de dunas adjacentes e apresenta mais areia fina, menos argila e areia grossa, retendo menos matéria orgânica. Com a precipitação, esse solo mais leve é carregado para o rio, podendo aumentar os valores de turbidez e sólidos totais, como observado no Rio dos Poldros.

França *et al.* (2019) estudaram uma sucessão palaeopalinológica no setor mais meridional dos manguezais do Brasil em Paraná e Santa Catarina. Eles comprovaram uma sucessão, começando há 1815 anos, de imigração de espécies arbóreas de manguezal, começando com *Laguncularia*, seguido por *Avicennia*, e finalmente por *Rhizophora*, esta última aparecendo no perfil polínico somente nas últimas décadas. Este estudo, e os de Cohen *et al.* (2012) sobre os mangues de Amazônia, e de Silva *et al.* (2019) sobre a Delta do Parnaíba, indicam que a dinâmica climática tem uma forte influência na distribuição e mudança de extensão sobre os manguezais.

### **Impactos humanos e o futuro dos manguezais do Delta**

A condição legal do Delta do Parnaíba como Área de Preservação Ambiental implica em duas presunções: sua permanência como ecossistema intacto e em função, e seu aproveitamento para o benefício da população. Um dos papéis importantes de pesquisadores é de traçar os limites entre os quais tal relação permaneça viável. Além de prever as consequências de desenvolvimentos de maior impacto, como empreendimentos industriais etc., é também necessário investigar quais os limites de exploração tradicional que o ecossistema possa tolerar sem degradação permanente. Nisso, há um campo bem amplo para pesquisas futuras.

Bryan-Brown *et al.* (2020), por exemplo, estudando as consequências de fragmentação de floresta de mangue, em escala global, aponta ao fato que pode-se diferenciar entre atividades das quais a floresta consegue recuperar (aquicultura, extração de madeira) e outros não (desenvolvimentos portuários, urbanos e agro-industriais). A fragmentação da floresta pode ser consequência de impactos humanos, mas também é implícita na própria dinâmica do ecossistema em sua condição natural.

## CONCLUSÕES

Em vista às hipóteses deste estudo, apresentadas na Introdução, pode se concluir que no Delta do Parnaíba, bosques maduros e conservados se diferenciam estruturalmente, de acordo com diversos fatores ambientais, como características químicas e físicas do solo e dos corpos d'água adjacentes, regimes das marés, e posição geográfica em relação ao continente e ao oceano.

A quantidade de biomassa é conservada principalmente em florestas de maior estatura, onde os troncos das árvores têm diâmetro maior, e este fato fortalece o argumento para a conservação dos bosques mais maduros. Ao mesmo tempo, há necessidade para melhores estimativas no Delta da biomassa subterrânea, e de árvores e madeira mortas, que certamente representam valores adicionais importantes.

As quatro áreas estudadas representam uma subestimação da diversidade tipológica dos bosques de mangue do Delta. Estudos de maior número de áreas é necessário, integrados com levantamentos de satélite, para fornecer uma visão mais adequada da diversidade de tipos de florestas e para construir mapas digitais que permitirão o monitoramento de mudanças vegetacionais.

Existe diferença fitossociológica significativa entre as duas áreas em regeneração (25 e 50 anos), embora não possam ser atribuídas necessariamente ao período em recuperação, em vista da forte influência de fatores ambientais. Estudos de longo prazo em parcelas permanentes seriam desejáveis para esclarecer quais são os padrões mais previsíveis de sucessão vegetacional.

As variáveis químicas e físicas do solo e dos corpos d'água próximos diferenciaram, as áreas estudadas, e algumas destas diferenças podem ser devido às suas localidades, mas não houve padrão claro com relação a posição geográfica. São necessários futuros estudos mais amplos e mais detalhados sobre a correlação de fatores ambientais, variáveis fitossociológicas e padrões genéticos populacionais das espécies arbóreas dentro da região do Delta.

O Delta do Parnaíba, tanto por incluir uma das maiores áreas protegidas de manguezal do Brasil, como por estar ainda em condição relativamente intacta e com proteção legal estabelecida sobre toda sua extensão, oferece um quadro favorável para estudos de maior escala e maior intensidade destas questões, importantes para sua manutenção como recurso local, regional e nacional.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. M. O.; MEHLIG, U.; NASCIMENTO, R. E. S. A.; MENEZES, M. P. M. Análise de composição florística e estrutura de um fragmento de bosque de terra firme e de um manguezal vizinhos na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ciências Naturais, Belém**, v. 1, n. 3, p. 27-34, 2006.
- AFFE, H. M. J.; MENEZES, M.; NUNES, J. M. C. Microphytoplankton in a tropical oligotrophic estuarine system: spatial variations and tidal cycles. **Brazilian Journal of Botany**, n. 41, p. 337-349, 2018.
- ALMEIDA, V. C.; JUNIOR, C. C.; FEITOSA, F.; PASTOR, D.; MONTE, G. caracterização estrutural do manguezal do Rio Tabatinga, Suape, Pernambuco, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 42, n. 1, p. 37-47, 2014.
- ALONGI, D. M. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, n. 76, p. 1-13, 2008.
- ALVES, J. R. P. (Org.). Manguezais: educar para proteger. Rio de Janeiro: FEMAR: SEMADS, 2001.
- ALVES, R. R. N.; SASSI, R.; SANTANA, G. G. The mangrove forest at the Bucatu Lagoon, Northeast Brazil: structural characterization and anthropic impacts. **Tropical Conservation Science**, v. 6, n. 2, p. 254-267. 2013.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. **Modern approach to the classification system of cyanophytes**. 3-Oscillatoriales. Algological Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes, p. 327-472, 1988.
- ANDRADE, I. M.; SILVA, M. F. S.; MAYO, S. J.; SILVA, A. G.; SILVA, A. P. M.; BRAZ, G. S.; NASCIMENTO, H. C. E.; MELO, L. M. B.; COSTA, M. C. A.; NASCIMENTO, M. G. P.; REIS, R. B.; SANTOS, R. L. Diversidade de Fanerógamas do Delta do Parnaíba – Litoral Piauiense. Pp. 63-114 in Guzzi A. (ed.), **Biodiversidade do Delta do Parnaíba: litoral piauiense**. EDUFPI, Parnaíba. 2012.
- APG IV - ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, n.161, p.105-121, 2016.
- ARARIPE, H. C. A. **Análise da gestão ambiental da carcinicultura: Estudo de caso da Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba**. MSc dissertation, Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2005.
- ARARIPE, H. G. A.; LOPES, J. B.; BASTOS, M. E. G. Aspectos do Licenciamento Ambiental da carcinicultura na APA do Delta do Parnaíba. **Revista Ambiente e Sociedade**, v. 9, n. 2, p. 1-31, 2006.
- ARAÚJO, M. P. **Etnobotânica e Etnozoologia da Comunidade pesqueira Passarinho, Ilha das Canárias, Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba, Araisos/Ma/Brasil**. 142 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2013.

ARAÚJO, L.; SILVA, M. F. S.; GOMES, D. N.; SOUZA, M. B.; MAYO, S. J.; ANDRADE, I. M. Structure of a disturbed mangrove in the Rio Parnaíba delta, Piauí, northeast Brazil. **Feddes Repertorium**, n. 129: p. 75-91. 2018.

BARBOSA, F. G. **Estrutura e análise espaço temporal da vegetação do manguezal do Pina, Recife – PE**: Subsídios para manejo, monitoramento e conservação. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 89 p. 2010.

BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T.R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E.F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, n. 180214, 12 p. 2018.

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

BERNINI, E.; SANTOS, C. F. N. R.; OINTO, F. L.; CHAGAS, G. P.; REZENDE, C. E. Fitossociologia de florestas de mangue plantadas e naturais no estuário do Rio das Ostras, Rio de Janeiro, Brasil. **Biotemas**, v. 27, n. 1, p. 37-48, 2014.

BEZERRA, F. H. R.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. **Marine Geology**, v. 196, p. 73-89, 2003.

BICUDO, C. E. MATTOS; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais: chave para identificação e descrições**. Livraria RiMa Editora, 2017.

BLASCO, F.; SAENGER, P.; JANODET, E. Mangroves as indicators of coastal change. **Catena**, v. 27, n. 3-4, p. 167-178, 1996.

BRYAN-BROWN, D. N.; CONNOLLY, R. M.; RICHARDS, D. R.; ADAME, F.; FRIESS, D. A.; BROWN, C. J. Global trends in mangrove forest fragmentation. **Scientific Reports**, v. 10, n. 7117, p. 1-8, 2020.

BUNTING, P.; ROSENQVIST, A.; LUCAS, R.M.; REBELO, L.-M.; HILARIDES, L.; THOMAS, N.; HARDY, A.; ITOH, T.; SHIMADA, M.; FINLAYSON, C. M. The Global Mangrove Watch – a new global baseline of mangrove extent. **Remote Sensing**, v. 10, n. 1669, p. 19, 2018.

CABRAL, J. R. S.; VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; LIMA, A. M.; FROTA, J. C. O.; AMORIM, J. V. A. Classificação dos solos da planície do Delta do Parnaíba, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 4, p. 1466-1483, 2019.

CARVALHO, E. A.; JARDIM, M. A. G. Floristic composition and structure of the mangrove forests in Pará State, Brazil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 923-930, 2017.

CASTRO, A. A. J. F. Unidades de Planejamento: Uma proposta para o Estado do Piauí com base na dimensão Diversidade de Ecossistemas, Programa de Biodiversidade do Trópico Ecotonal do Nordeste (Programa BIOTEN). **Publicações Avulsas em Conservação de Ecossistemas**, n. 18, p. 1-28, 2007.

CAVALCANTI, A. P. B. Análise integrada das unidades paisagísticas na planície deltaica do Rio Parnaíba - Piauí/Maranhão. **Mercator - Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará**, n. 3, p. 105-118, 2004.

CAVALCANTI, D. R.; CARVALHO, E. V. T.; ZAGAGLIA, C. R.; BARRETO, R.; SANTOS, R. N. A. Detecção de viveiros de carcinicultura e de salinas com imagens CBERS-2 e Landsat, localizados na APA Delta do Parnaíba. Pp. 3813-3819 in **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis**, 21-26 abril 2007, INPE. 2007.

CAVANAUGH, K. C.; KELLNER, J. R.; FORDE, A. J.; GRUNER, DANIEL S.; PARKER, J. D.; RODRIGUEZ, W. & FELLER, I. C. Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 2, 723-727, 2014.

CHEN, L.; WANG, W; ZHANG, Y; LIN, G. Recent progresses in mangrove conservation, restorations and research in China. **Journal of Plant Ecology**, v. 2, n. 2, p. 45-54, 2009.

COHEN, M. C. L.; PESSENDA, L. C. R.; BEHLING, H.; ROSSETI, D. F.; FRANÇA, M. C.; GUIMARÃES, J. T. F.; FRIAES, Y.; SMITH, C. B. Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. **Quaternary Science Reviews**, v. 55, p. 50-58, 2012.

CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E. R; NUNES, O. O; LOPES FILHO, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão:** relatório diagnóstico do município de Água Doce do Maranhão, Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil- CPRM, 31p. 2011a.

CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E. R; NUNES, O. O; LOPES FILHO, J. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão:** relatório diagnóstico do município de Araióses, Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil- CPRM, 31p. 2011b.

COSTA, D. F. S.; ROCHA, R. M.; CESTARO, L. A. Análise fitoecológica e zonation de manguezal em estuário hipersalino. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 13, n. 1, p. 119-126, 2014.

COSTA, M. R. P.; ALCANTÁRA E. H.; AMORIM, J. E. A.; MOCHEL, F. R. Avaliação das potencialidades e fragilidades das áreas de manguezal para a implementação do ecoturismo usando ferramentas de sensoriamento remoto em Cururupu - Ma, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 17, p. 237-243, 2006.

COSTA, P; DÓREA, A.; MARIANO-NETO, E.; BARROS, F. Are there general spatial patterns of mangrove structure and composition along estuarine salinity gradients in Todos os Santos Bay? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 166, p. 83-91. 2015.

CRUZ, M. V.; MORI, G. M.; SIGNORI-MÜLLER, C.; SILVA, C. C.; OH, D.-H.; DASSANAYAKE, M.; ZUCCHI, M. I.; OLIVEIRA, R. S.; SOUZA, A. P. Local adaptation of a dominant coastal tree to freshwater availability and solar radiation suggested by genomic and ecophysiological approaches. **Scientific Reports**, v. 9, n. 19936, p. 1-15, 2019.

DAMÁZIO, E. Contribuição ao conhecimento da vegetação de manguezais da Ilha de São Luis - Parte I. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v.3. n.1, p. 9-12, 1980a.

DAMÁZIO, E. Contribuição ao conhecimento da vegetação de manguezais da Ilha de São Luis - Parte II. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v.3. n.1, p. 57-76, 1980b.

DANIEL, T. F. *Avicennia* (Acanthaceae: Avicennioideae) in North America and Mesoamerica. **Proceedings of the California Academy of Sciences**, v. 4, n. 63, p. 163-189, 2016.

DEUS, M. S. M. **Organização arquitetural de três bosques de manguezal do litoral do Piauí**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Piauí e Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2000.

DEUS, M. S. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODRIGUES, S. M. C. B.; ANDRADE, V.C. Estrutura da vegetação lenhosa de três áreas de manguezal do Piauí com diferentes históricos de antropização. **Brasil Florestal**, n. 78, p. 53-60, 2003.

ELLISON, J. C. Mangrove retreat with rising sea-level, Bermuda. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v.37, n. 1, p. 75-87, 1993.

EL-ROBRINI, M.; MARQUES JÚNIOR, V.; SILVA, M. A. M. A.; EL-ROBRINI, M. H.; FEITOSA, A. C.; TAROUÇO, J. E. F.; SANTOS, J. H. S.; VIANA, J. R. Atlas de Erosão e Progradação Costeira do Litoral do Maranhão. In: MUEHE, D. (org). **Atlas de erosão e progradação do litoral brasileiro**. MMA.Brasília-DF. 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ESPIG, S. A. REIS, I. A.; ARAÚJO, E. P. Identificação do ecossistema mangue na Ilha do Maranhão através de técnicas de classificação utilizando imagens do sensor CCD-CBERS-2. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5731-5737.

FELFILI, J. M.; ROITMAN, I.; MEDEIROS, M. M.; SANCHEZ, M. Procedimentos e métodos de amostragem de vegetação. In: I, FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. (Orgs.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso: vol. 1– Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. p. 86-121, 2011.**

FERNANDES, A. G.; LOPES, A. S.; SILVA, E. V.; CONCEIÇÃO, G. M.; ARAÚJO, M. F. V. IV- Componentes biológicos: Vegetação. Pp. 43–72 in: Fundação CEPRO (ed.), **Macrozoneamento Costeiro do Estado do Piauí: Relatório geoambiental e sócio-econômico**. Fundação CEPRO, Teresina. 1996.

FERNANDES, R. T. V. **Recuperação de manguezais**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 305-310, 2012.

FIDALGO, O.; BONONI, V. L. R.: **Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico**. Instituto de Botânica, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. 1989.

FLORA DO BRASIL 2020: **Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 24 mai. 2021.

- FONSECA, I. L. A.; MOCHEL, F. R. Fitomassa aérea de um manguezal no estuário do Rio dos Cachorros, São Luís, Maranhão, Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 26, n.1, p. 17-25, 2016.
- FRANÇA, M. C.; PESSENDA, L. C. R.; COHEN, M. C. L.; AZEVEDO, A. Q.; FONTES, N. A.; SILVA, F. B.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; PICCOLO, M. C.; BENDASSOLLI, J. A.; MACARIO, K. Late-Holocene subtropical mangrove dynamics in response to climate change during the last millennium. **The Holocene**, v. 29, n. 3, p. 445-456, 2019.
- FROIS-ABREU, S. Observação sobre a Guiana Maranhense. **Revista Brasileira de Geografia**, p. 26-59. 1939.
- FROMARD, F.; PUIG, H.; MOUGIN, E.; MARTY, G.; BETOULLE, J. L.; CADAMURO, L. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. **Oecologia**, v. 115, p. 39-53, 1998.
- GONÇALVES, A. L.; CRUZ, V. M. S.; CAMPOS, J. R. P.; SOUZA, D. V. Floristic and phytosociological composition of the port area mangroves in São Luis, Maranhão, Brazil. **Journal Biofix Scientific**, v. 3, n. 1, p. 01-07, 2018.
- GOOGLE EARTH PRO. **Google Earth Pro**, version 7.1.8.3036 (32-bit), build date 17 Jan 2017. 2021.
- GUEDES, C. C. F.; GIANNINI, C. F.; SAWAKUCHI, A. O.; DEWITT, R.; AGUIAR, V. A. P. Weakening of northeast trade winds during the Heinrich stadial 1 event recorded by dune field stabilization in tropical Brazil. **Quaternary Research**, v. 88, n. 3, p. 369-381. 2017.
- HAMMER, O; HARPER, D. A. T. **Paleontological Data Analysis**. Blackwell. Publishing. Ltd. Malden, Massachusetts, USA. 2006. 351p.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, p. 1-9, 2001.
- HOGARTH, P. J. **The Biology of Mangroves and Seagrasses**. (3rd ed.). Oxford: Oxford. University Press. 2015.
- HONAISSER, L. **Mapeamento temático dos manguezais do médio litoral superior do sudoeste da Ilha de São Luís**. Universidade Federal do Maranhão, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão. 1993.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2010: Disponível em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=210090>. Acesso em 03 mai. 2021.
- ICMBio. **Atlas dos Manguezais do Brasil** - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas\\_dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf). Acesso 24 abril. 2021.
- ICMBIO. **APA Delta do Parnaíba**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/visitacao1/unidades-abertas-a-visitacao/9411-area-de-protecao-ambiental-delta-do-parnaiba#>. Acesso em: 27 mar. 2020.



- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. Banco de Dados para Pesquisa e Ensino – BDMEP. Disponível: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso: 20 ago. 2020.
- JOHNS, W. E.; LEE, T. N.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMBURNER, R.; CASTRO, B. Annual cycle and variability of the North Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 28, p. 103-128. 1998.
- KATHIRESAN, K; BINGHAM, B. L. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology*, v. 40, p. 81-251, 2001.
- KAUFFMAN, J. B. & DONATO, D. C. **Protocols for the measurement, monitoring, and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests**. CIFOR Working Paper 86. Center for International Forest Research, Indonesia, 40 p. 2012.
- KILKA, P.; CARVALHO, F. C. Estrutura de manguezais em diferentes estágios sucessionais no estuário do rio Piauí, Sergipe-Brasil. São Leopoldo: Instituto Anchieta de Pesquisas. **Pesquisas Botânicas**, n. 61, p.171-189, 2010.
- KJERFVE, B. & LACERDA, L. D. 1993: Mangroves of Brazil. In: L. D. LACERDA (ed.), **Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions, Part I - Latin America, Mangrove Ecosystem Technical Report No. 2**. International Society for Mangrove Ecosystems (ISME), Okinawa, pp. 245–272.
- LOURENÇO, B. F.; BLOTTA, K. D.; PELLATIERO, V. M.; ROSENDO, A.; CRZ, A. L.; LIMA, P. S.; JUNIOR, M. A. D. P.; FILHO, J. I. S.; GIORDANO, F.; MAGENTA, M. A. G. Avaliação da densidade de vegetais adultos encontrados no Manguezal localizado no Parque da Serra do Guararu, Guarujá, São Paulo, Brasil. **Unisanta BioScience**, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2017.
- LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. The Ecology of Mangroves. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 5, p. 39-64, 1974.
- MACINTOSH, D. J.; ASHTON, E.C. **Princípios para um código de conduta para o manejo e uso sustentável de ecossistemas de mangue**. 113p. Banco Mundial, ISME, cenTER Aarhus. 2005. Disponível em [http://mit.biology.au.dk/cenTER/MCB\\_Files/2005\\_MCB\\_Code\\_Portugese.pdf](http://mit.biology.au.dk/cenTER/MCB_Files/2005_MCB_Code_Portugese.pdf). Acesso em 07 de out. 2020.
- MAGRIS, R. A.; BARRETO, R. Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brazil. **PANAMJAS: Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 4, p. 546-556, 2010.
- MAIA, L. P.; LACERDA, L. D.; MONTEIRO, L. H. U.; SOUZA, G.; MARQUES, E. **Estudo das áreas de manguezais do nordeste do Brasil: Avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, Relatório final**. Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar/Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal, Fortaleza. 2005.
- MADI, A. P. L. M.; BOEGER, M. R. T.; LARCHER, L.; PELOZO, A.; SERENESKI, C.; REISSMANN, C. B.; PADIAL, A. A. Estrutura do componente de regeneração natural e

arbóreo de dois manguezais no estado do Paraná. **Ciência Florestal**, V. 26, N. 1, P. 159-170, 2016.

MMA. **Zona costeira marinha**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha.html>. Acesso em 02 abr. 2021.

MANTOVANI, W. Manguezal e restinga: difícil conservação. In: ARAÚJO *et al.* (Orgs.). **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: UFRPE, 2002. 298p.

MARCELINO, A. M. T.; OLIVEIRA, J. E. L.; CASTRO, P. T.; ARARIPE, H. G. A.; LEITE, T. S.; SOUZA, B. L. Q. **Caracterização dos Ecossistemas Costeiros dos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí**. Natal. 1999.

MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. de. **Amazônia maranhense: diversidade e conservação**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011. 328 p.

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

MCMILLAN C.; SHERROD, C. L. The chilling tolerance of black mangrove, *Avicennia germinans*, from the Gulf of Mexico coast of Texas, Louisiana and Florida. **ContribMar Sci**, v. 29, n. 1, p. 9-16. 1986.

MEIRELES, V. J. S. **Etnobotânica e caracterização da pesca na comunidade Canárias, Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil**. MSc dissertation, Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2012.

MEIRELES, V. J. S. **Estrutura e apropriação de espécies lenhosas de mangue no Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2016.

MEIRELES, M. P. A.; MEIRELES, V. J. S.; SANTOS, L. V.; BARROS, R. F. M. Socioeconomic profile of artisanal fishermen of the Passarinho community, Marine Protected Area of the Delta of Parnaíba, Araioses/MA. **Espacios**, v 38, n 13, p. 1-16, 2017.

MEIRELES, V. J. S.; MEIRELES, M. P. A.; VIEIRA, F. J.; CAMPOS, J. B.; BARROS, R. F. M. Conhecimento botânico tradicional e conservação de espécies na RESEX Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil. **Espacios**, v. 39, n. 45, p. 1-18, 2018.

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

MMA. **Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília: MMA/SBF/GBA, 148 p., 2010.

MOCHEL F. R. Mangroves of Maranhão State, North Brazil. In: LACERDA LD AND FIELD CD (Eds), **Mangrove Ecosystems Proceedings, Okinawa: ISME**, Japan. p. 1, 14. 1993.

MOCHEL, F. R. Programa Integrado do Estudo Ecológicos dos Manguezais do Estado do Maranhão. – para países de língua portuguesa. Santa Catarina, **Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado**, v.1, n. 2, p 30-33, 2002.

MOCHEL, F. R. Improving visual enhancement of mangrove areas in Baía de Turiaçu, Brazil, by using HSI transformation in landsat 5/tm imagery, Brasil. São Luís, **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 22, n.1, p. 45-54. 2009.

MORO, M. F.; MARTINS, F. R. Métodos de levantamento do componente arbóreo-arbustivo. In: I, FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. (Orgs.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso**: vol. 1– Viçosa, MG: Ed. UFV, p. 86-121. 2011.

NASCIMENTO, M. G. P. **Etnobotânica e Etnozoologia em Comunidades Pesqueiras de Parnaíba E Cajueiro da Praia, Piauí**. Teresina, 2014. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Piauí. 2014. 157p.

NASCIMENTO, M. G. P.; LIMA, G. A.; ANDRADE, I. M.; GALVÍNICO, J. D. Climatological trends for the municipality of Parnaíba Piauí/Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n.1 p. 10-20, 2019.

NASCIMENTO, M. G. P.; MAYO, S. J.; ANDRADE, I. M. Distinguishing the Brazilian mangroves *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* (Acanthaceae) by elliptic Fourier analysis of leaf shape. **Feddes Repertorium**, 31 p. (publicado online 4 janeiro 2021).

NASCIMENTO, M.S.V. **O manguezal do estuário dos rios Timonha-Ubatuba, Ceará - Piauí, Brasil: composição, estrutura e diagnóstico socioambiental**. MSc dissertation, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa. 1999.

NASCIMENTO, M.S.V.; SASSI, R. Interferências Humanas na Área de Influência Direta do Manguezal dos Rios Timonha/Ubatuba, Estado do Piauí, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, n. 15, p. 73-90, 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, n. 1, p. 9-18, 2014.

PARAGUASSU, L. A. A.; SILVA, M. N. Caracterização fitossociológica de Porto de Sauípe, entre rios, Bahia. **Diálogos e Ciência**, v. 5, n. 12, p. 1-12, 2007.

PAULA FILHO, F. J.; MARINS, R. V.; LACERDA, L. D. Natural and anthropogenic emissions of N and P to the Parnaíba River Delta in NE Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 166, p. 34-44, 2015.

PIELOU E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections. **Journal of Theoretical Biology**, v.13, p.131-144, 1966.

POOL, D. J.; SNEDAKER, S. C.; LUGO, A. E. Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, México and Costa Rica. **Biotropica**, v. 9, n. 3, p. 195-212, 1977.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ÁGUA DOCE DO MARANHÃO. **Inventário Turístico**. 68.p Maranhão, 2013.

QUINÕES, E. M. **Relações água-solo no sistema ambiental do estuário de Itanhaém**. Campinas, FEAGRI, UNICAMP, 2000.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 27 mai. 2021.

RIPLEY, B. **Functions for Classification**. R package "class", versão 7.3-19. 2021. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/class/class.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021.

ROMERO-BERNY, E. I.; TOVILLA-HERNANDEZ, C.; TORRESCANO-VALLE, N. Y SCHMOOK, B. Heterogeneidad estructural del manglar como respuesta a factores ambientales y antrópicos en el Soconusco, Chiapas, México. **Polibotánica**, n. 47, p. 39-58, 2019.

ROUND, F. E; CRAWFORD, R. M; MANN, D, G. **The diatoms**. biology and morphology of the genera. Cambdge University Press, Cambridge. 1990.

R STUDIO TEAM. **RStudio**: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 27 mai. 2021.

SANTOS, T. O. **Florística, estrutura fitossociológica e produção de serapilheira do manguezal do Rio São Francisco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão. 2013.

SANTOS, T. O.; ANDRADE, K. V. S.; SANTOS, H. V. S.; CASTANEDA, D. A. F. G.; SANTANA, M. B. S.; HOLANDA, F. S. R.; SANTOS, M. J. C. Caracterização estrutural de bosques de mangue: estuário do São Francisco. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4, p. 1-7, 2012.

SANTOS, M. J. L. F.; LEITE, R. A. O conceito de utilidade pública aplicado ao setor salineiro e a controvérsia envolvendo a autorização para supressão de Áreas de Preservação Permanente – manguezais. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 1, n 1. p. 389-408. 2011.

SCHAEFFER- NOVELLI, Y. (coord.). **Manguezal: Ecossistema entre a Terra e o Mar**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995.

SCHAEFFER- NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G.; ADAIME, R. R.; CAMARGO, T. M. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 204-218, 1990.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G.; SOARES, M. L. G.; DE-ROSA, T. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3. p. 561-570, 2000.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C. C.; CINTRÓN, G. Monitoramento do ecossistema manguezal: estrutura e características funcionais. - *In*: A. Turra & M. R. Denadai (eds.), **Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros – ReBentos**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, pp. 62-80. 2015.

SHANNON C. E., WEAVER W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press. 117p. 1949.

SHEPHERD, G. J. **FITOPAC 2.1.2: Manual do usuário**. Campinas, UNICAMP. 2012.

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, A.G.A.; STATTEGGER, K.; VITAL, H.; SCHWARZER, K. Coastline change and offshore suspended sediment dynamics in a naturally developing delta (Parnaíba Delta, NE Brazil). **Marine Geology**, v. 410, n. 1-15, 2019.

SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, S. F. L.; SANTOS, M. A.; PINTO, F. L.; BERNINI, E. Fitossociologia de uma floresta de mangue adjacente a uma planície hipersalina no estuário do Rio Miriri, Paraíba, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 24, n. 2, p. 3-12, 2016.

SIMARD, M., T. FATOYINBO, C. SMETANKA, V.H. RIVERA-MONROY, E. CASTANEDA-MOVA, N. THOMAS, AND T. VAN DER STOCKEN. 2019. **Global Mangrove Distribution, Aboveground Biomass, and Canopy Height**. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA.

SOARES, M. L. G.; CHAVES, F. O.; CORRÊA, F. M.; SILVA JÚNIOR, C. M. G. Diversidade estrutural dos 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.; CHAVES, F. O.; ESTRADA, G. C. D.; FERNANDEZ, V. Mangrove forests associated with salt flats: a case study from southeast Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 2, p. 102-115, 2017.

SOTO, R.; CORRALES, L.F. Variación de algunas características foliares de *Avicennia germinans* (L.) L. (Avicenniaceae) en un gradiente climático y de salinidad. **Revista de Biología Tropical**, v. 353, n. 2, p. 245-256, 1987.

SOUTO, F. J. B. O bosque de mangues e a pesca artesanal no Distrito de Acupe (Santo Amaro, Bahia): uma abordagem etnoecológica. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 30, n. 3, p. 275-282, 2008.

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

SOUZA, M. M. A.; SAMPAIO, E.V.S.B. Estrutura dos mangues em áreas pouco antropizadas e em regeneração no Rio Pacoti, CE. **Caderno de Cultura e Ciência [da Universidade Regional do Cariri, URCA]**, v. 12, n. 2, p. 32-43, 2013.

STEKHOVEN, D. J. **Nonparametric Missing Value Imputation using Random Forest**, version 1.4. 2013. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: 5 abr. 2021.

TIMM, M. R.; ARAUJO, R. J. Comparisons of south Florida's seawall and natural mangrove stands reveal similar structural attributes. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 32, p. 7-20, 2018.

TOMAS, CARMELO R. (Ed.). **Identifying marine phytoplankton**. Elsevier, 1997.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves**. New York: Cambridge University Press, ed. 2. 2016. 418p.

TROPICOS. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden, St. Louis. 2021. Disponível em: <http://www.tropicos.org>. Acesso em: 31 dez. 2020.

WOOD, E. J. **Dinoflagellates of the Caribbean Sea and adjacent areas**. 1968.

**MANUSCRITO 3 - Mapeamento científico e tecnológico de espécies de *Avicennia* spp.**

## MAPEAMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DE ESPÉCIES DE *Avicennia* spp.

Maria Gracelia Paiva Nascimento<sup>1</sup>; Simon Joseph Mayo<sup>2</sup>; Ivanilza Moreira de Andrade<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFPI. Teresina, PI, Brasil, E-mail: graceliapaiva@gmail.com (autor correspondente)

<sup>2</sup> Identification and Naming Department Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond TW9 3AE UK.

<sup>3</sup> Docente do curso do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA, Universidade Federal do Piauí – UFPI – Teresina/PI – Brasil

**Resumo:** As espécies Neotropicais *Avicennia germinans* e *A. schaueriana* são árvores características da vegetação de manguezal e apresentam importância ecológica e econômica. Assim, objetivou-se realizar o mapeamento científico e tecnológico sobre estas espécies utilizando bancos de dados nacionais e internacionais de artigos e patentes com as palavras-chave: “*Avicennia*”, “*Avicennia* AND *germinans*” e “*Avicennia* AND *schaueriana*” no título ou/e resumo. Foram registrados para “*Avicennia*” 5.276 documentos, e para *Avicennia schaueriana* há registro de patentes na WIPO e INPI. Os EUA, seguido do Brasil, possuem o maior número de estudos, iniciados na década de 1980. O maior número de trabalhos científicos foi na área de Ciências Ambientais e o CIP de maior distribuição foi A61K. Concluiu-se que existe crescente interesse científico e tecnológico pelas espécies de *Avicennia* e o Brasil vem destacando-se com potencial para inovação tecnológica acerca do grupo.

**Palavras chave:** *Avicennia germinans*; *Avicennia schaueriana*; manguezal; patentes.

## MAPPING OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL OF SPECIES OF *Avicennia* spp.

**Abstract:** Mangrove is a coastal ecosystem characteristic of tropical and subtropical regions. The Neotropical species *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* are characteristic mangrove trees and have ecological and economic importance. Thus, the objective was to map scientific and technological advances on these two species. A search was carried out in national and international databases of articles and patents with the keywords: “*Avicennia*”, “*Avicennia* AND *germinans*” and “*Avicennia* AND *schaueriana*” in the title or/and abstract. A considerable number of documents were recorded for “*Avicennia*” (5.276), and the species *Avicennia schaueriana* presents patents at WIPO and INPI. The USA followed by Brazil have



the largest number of research articles, initiated in the 1980s. The highest concentration of research was in Environmental Sciences and the CIP with the greatest distribution of patents was A61K. It is concluded that there is a growing scientific and technological interest and Brazil stands out as having potential for technological innovation on these taxa.

**Keywords:** *Avicennia germinans*; *Avicennia schaueriana*; mangrove; patents.

## Introdução

O manguezal é um ecossistema litorâneo distribuído em um quarto da costa tropical e subtropical ao redor do mundo (CINTRÓN e SCHAEFFER-NOVELLI, 1983; SCHAEFFER-NOVELLI, 2018). No Brasil recobrem área estimada de 25.000 km<sup>2</sup> de extensão, distribuída em 7.408 km<sup>2</sup> de linha costeira do país (FERNANDES, 2012), desde o Rio Oiapoque, no Amapá, até Laguna em Santa Catarina (MMA, 2009), estabelecendo um ecossistema costeiro característico de regiões tropicais e subtropicais, úmidas e de transição entre os ambientes terrestre e marinho, sujeito ao regime das marés (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Este ambiente possui grande biodiversidade, servindo de habitat para muitas espécies, incluindo 20 famílias de plantas vasculares (NAGELKERKEN *et al.*, 2008).

Dentre as várias espécies de manguezal, destacam-se as do gênero *Avicennia* L., pertencente à Acanthaceae, com distribuição pantropical e subtropical, e oito espécies catalogadas distribuídas na África Oriental, África Ocidental, região Indo-Pacífico e Novo Mundo (DODD *et al.*, 2000). Para o Brasil estão registradas duas espécies, *Avicennia germinans* (L.) L. e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, ambas ocorrentes ao longo da costa (MORI *et al.*, 2015a e b; PROFICE *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2018).

*Avicennia* spp. Ocorrem em áreas de faixa de marés, além de ter alta tolerância às condições hipersalinas, apresentando glândulas secretoras de sal e anatomia adaptadas que evitam a perda de água para o meio (TOMLINSON, 2016).

É caracterizada quimicamente pela presença de iridóides glicosilados (BOUSQUET-MÉLOU; FAUVEL, 1998; FENG *et al.*, 2006), flavonóides (FENG *et al.*, 2006), diterpenos (SUBRAHMANYAM *et al.*, 2006), e naftoquinonas (ITO *et al.*, 2000). Apresenta atividade biológica, como ação anticolinesterásica (SUGANTHY *et al.*, 2009) e utilização no combate a fungos em raízes de quiabo e feijão (TARIQ *et al.*, 2006).

Estudos sobre bioprospecção e isolamentos de compostos (AGORAMOORTHY *et al.*, 2007; BHIMBA *et al.*, 2010; ALIZADEH BEHBAHANI *et al.*, 2012; ZHENG *et al.*, 2014; CALDERANI *et al.*, 2016) tem sido registrado para o Gênero.

*A. germinans* e *A. schaueriana* são popularmente reconhecidas como siriba branca, siriba preta e seriba (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018) e detentoras de propriedades medicinais, farmacopeias e tratamento de diversas doenças, tais como miastenia grave que acometem ribeirinhos e demais pessoas que buscam na medicina popular uma alternativa de cura (SUGANTHY *et al.*, 2009; CARNEIRO *et al.*, 2010).

Levando-se em consideração que 80% da população dos países em desenvolvimento façam uso de alternativas tradicionais, sendo 85% de plantas medicinais (FAO, 2005; FOGGIO *et al.*, 2007), a importância ecológica de *Avicennia* no ecossistema manguezal e o número de estudos fitoquímicos supracitados, seus representantes despontam como promissora fonte de substâncias com potencial antioxidante e antifúngico (ZHENG *et al.*, 2014; CALDERANI *et al.*, 2016). Neste contexto, o mapeamento dos estudos científicos e tecnológicos podem nortear intervenções planejadas que respondam aos interesses da sociedade, influenciando, desta forma, a pesquisa e desenvolvimento em determinada área, gerando impacto positivo na indústria, na economia ou na sociedade (AMPARO *et al.*, 2012).

Dessa forma, pesquisas que relatem e quantifiquem o conhecimento descrito sobre as atividades farmacológicas de compostos de origem natural e sintética representam ferramentas de grande importância econômica e ecológica, já que se constituem como meios de disponibilização de informações (ALVARENGA *et al.*, 2015), sendo a prospecção uma importante ferramenta utilizada por pesquisadores e empresas na busca por novos projetos e estudos (BUAINAIN *et al.*, 2005).

Considera-se ainda a importância de incentivar pesquisas com espécies nativas brasileiras, que poderão influenciar de forma significativa tanto a economia como a sociedade de um modo geral (KUPFER; TIGRE, 2004), além de subsidiarem demais estudos, pois pesquisas com tais descritores em bases permitem a delimitação e explanação a respeito da evolução e correlações do conhecimento. Diante do exposto, objetivou-se realizar uma busca da produção científica e tecnológica a fim de se montar um panorama prospectivo dos avanços científicos e tecnológicos de espécies de *Avicennia*, principalmente as que ocorrem no Brasil, *A. germinans* e *A. schaueriana*.

## Metodologia

O trabalho foi desenvolvido durante os meses de março a abril de 2020 (período de 08/03/2020 a 04/05/2020). Para o estudo prospectivo científico utilizou-se as bases *Web of Science*, Scopus e Scielo e para as buscas das Patentes as bases EPO (European Patent Office), WIPO (World Intellectual Property Organization) e INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial). Os descritores “*mangrove*”, “*Avicennia*”, “*Avicennia germinans*”, “*Avicennia schaueriana*” presentes nos campos de pesquisa “título” e/ou “resumo” de artigos/patentes foram utilizados. A pesquisa nas bases de dados de artigos científicos e patentes foi realizada sem definição de prazo para busca, sendo consultados, portanto, todos os artigos científicos e documentos de patentes já disponíveis para consulta até a data de realização da referida pesquisa (30/04/2020). Os termos compostos foram pesquisados entre aspas para garantir uma maior precisão na busca e os termos em inglês foram utilizados para as bases internacionais, enquanto que os termos em português para base nacional. As patentes foram analisadas quanto ao país depositante, o ano da concessão e a Classificação Internacional de Patentes - CIP (IPC, sigla em inglês). De acordo com o INPI, a CIP é reconhecida em nível internacional, sendo dividida em oito áreas de interesse tecnológico, que por sua vez são denominadas classes (em ordem alfabética) e posteriormente subdivididas em subclasses hierárquicas.

Os artigos tiveram seus resultados organizados por ano de publicação, países e área de conhecimento. Os dados foram tabulados de forma individual, conforme as categorias de análises (país, área, espécies e ano) e organizados em tabelas e gráficos no *Microsoft Excel* (2019), visando a caracterização, distribuição e avanço das publicações e os pedidos de patente existentes até o momento. Optou-se por utilizar para a seleção os dados bibliográficos, a base *Web of Science* (WoS) para elaboração dos gráficos. Essa escolha se deu devido ao grande número de trabalhos científicos e por ser a base que dá origem ao fator de impacto dos periódicos (JCR – *Journal Citation Report*).

A análise bibliométrica seguiu a preconizada por Welsh (2015): definição de buscas, consulta à base de dados (Scielo), exportação em arquivo RIS, refinamento da pesquisa das principais interações com os descritores “*Avicennia germinans*” e “*Avicennia schaueriana*”, utilizando *software* VOSviewer, versão 1.6.15 (ECK e WALTMAN, 2010), depois calculou-se os *Scores* para cada ocorrência, selecionando os termos mais relevantes.

## Resultados e discussão

Utilizando as bases de patentes com o termo “*mangrove*” registrou-se o total de 437 e 552 documentos na EPO e WIPO, respectivamente (Tabela 1). Para os pedidos de patentes envolvendo o descritor *Avicennia* foram contabilizados 131 na EPO e 119 na WIPO. Apenas dois documentos foram contabilizados para *Avicennia schaueriana* na base de patentes WIPO, enquanto que para *A. germinans* não houve registro em ambas as bases. Para o INPI foram contabilizados dois documentos envolvendo o gênero e todos relacionados a espécie *A. schaueriana*.

Quanto aos artigos indexados nas bases Scopus e *Web of Science*, obteve-se para “*mangrove*” 16.044 e 17.740 registros, respectivamente. O maior número de artigos envolvendo *Avicennia* foi indexado na SCOPUS (2.605) e *Web of Science* (2.295). Dentre as espécies pesquisadas, *A. germinans* foi a que apresentou maior número de artigos, com 527 documentos para SCOPUS e 522 para *Web of Science*, comparado a *A. schaueriana* (SCOPUS: 108 e *Web of Science*: 94).

Os manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos e biologicamente importantes do mundo, fornecendo bens e serviços únicos e essências para a sociedade (GIRI *et al.*, 2010), além de terem papel ecológico fundamental, protegendo as regiões costeiras contra inundações e furacões, redução da erosão das margens dos rios e manutenção da biodiversidade (JERATHA *et al.*, 2016). Pode-se dizer que o grande número de artigos indexados nas bases reflete a importância desse ecossistema no campo biológico, cultural e econômico, e é acompanhado pelos pedidos de depósitos de patentes nas bases EPO e WIPO. *Avicennia germinans* e *A. schaueriana*, portanto, representam grande parte dos artigos publicados sobre o gênero, no entanto, é pequena a utilização das espécies em tecnologias registradas nas bases de patentes WIPO, EPO e INPI.

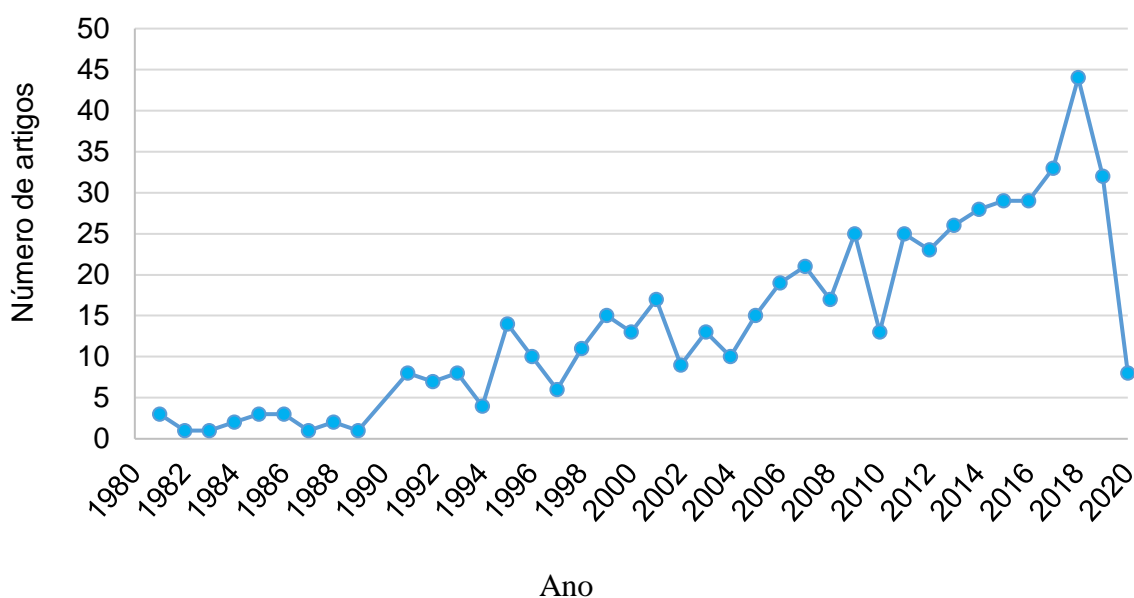
Tabela 1 - Número de artigos indexados por bases científicas envolvendo diferentes descritores para *Avicennia*.

Palavra-chave/descriptores	SCOPUS	SCIELO	Web of Science	WIPO	EPO	INPI	Total
<i>Mangrove</i>	17,740	785	16,044	552	437	5	17,818
<i>Avicennia</i>	2,605	126	2,295	119	131	2	5,276
<i>Avicennia germinans</i>	527	76	522	-	-	-	1,125
<i>Avicennia schaueriana</i>	108	41	94	2	-	2	245

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

A evolução por ano de publicações indexadas na base de artigos *Web of Science* com o descritor “*Avicennia germinans*” é apresentada na Figura 1. Observa-se que as publicações tiveram início em 1981, com três registros, aumentando ao longo dos anos, com maior número de artigos indexados em 2018, contabilizando 44 registros. As publicações dos últimos 10 anos representam 55,55% do total de documentos e mostram o crescente interesse sobre a espécie.

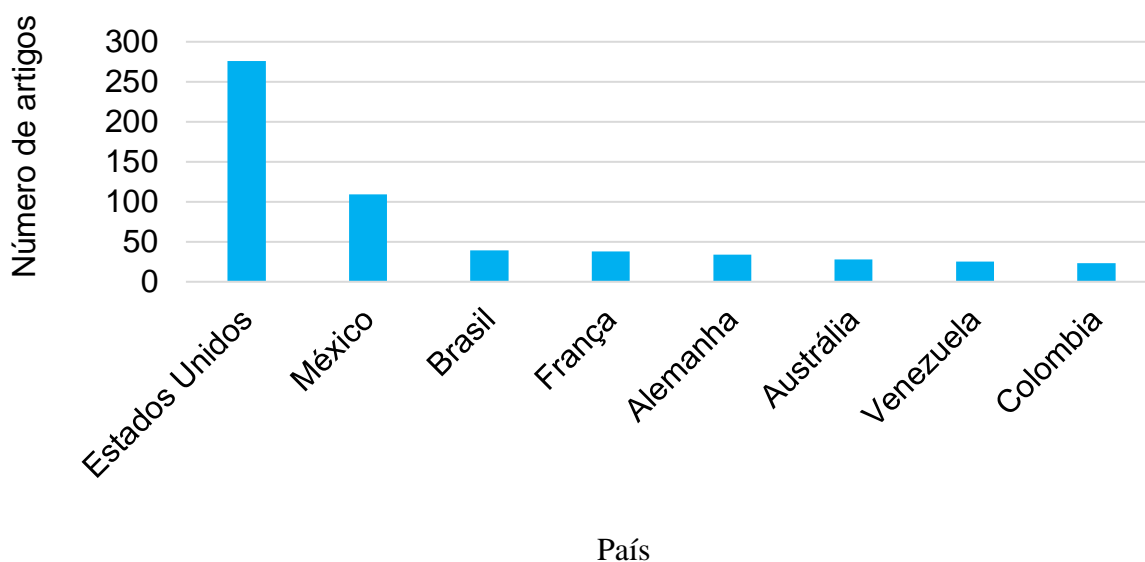
Figura 1 - Evolução anual de artigos indexados na Web of Science com a palavra-chave “*Avicennia germinans*” de 1981 a 2020.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Os Estados Unidos é o país com o maior número de artigos indexados na base *Web of Science*, com 276 registros, representando 52,87% do total de publicações (Figura 2), seguido pelo México com 109 artigos (20,88%) e Brasil com 39 (7,80%). Os dados mostram que, apesar da espécie ser nativa do Brasil (Flora do Brasil, 2020), o país participa pouco na promoção de pesquisas com a espécie, embora tenha distribuição ao longo da faixa costeira, o que representa fonte importante para o desenvolvimento de pesquisas em diversos segmentos (FUME *et al.*, 2018).

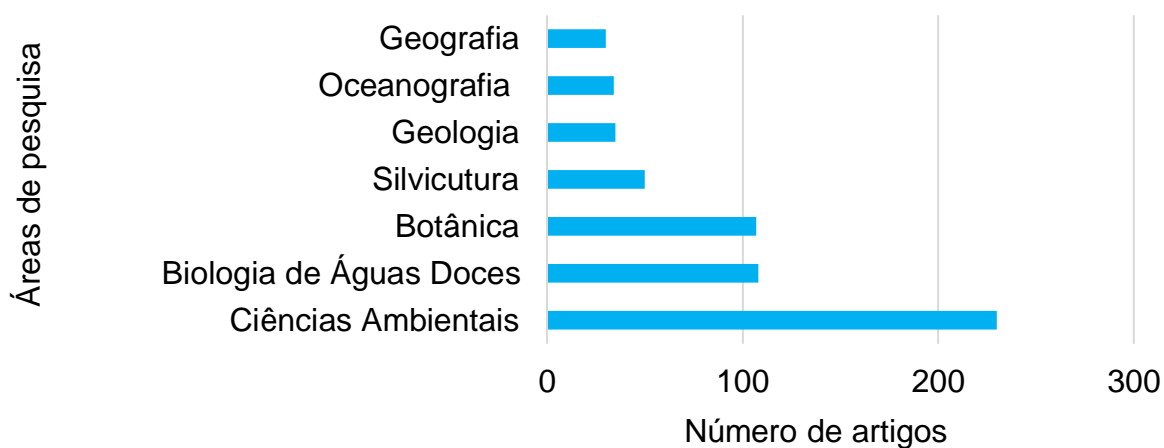
Figura 2 - Distribuição das publicações indexadas por país na base Web of Science com a palavra-chave “*Avicennia germinans*” de 1981 a 2020.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Ao verificar as principais áreas as quais os artigos foram indexados utilizando o descritor “*Avicennia germinans*” (Figura 3), os estudos estão ligados principalmente à área de Ciências Ambientais, com 230 registros. Biologia de Água Doce Marinha e Botânica também apresentaram número expressivo, com 108 e 107 registros, respectivamente. Silvicultura, Geologia, Oceanografia e Geografia apresentaram menor número.

Figura 3 - Distribuição das publicações indexadas por áreas de pesquisa na base Web of Science com a palavra-chave “*Avicennia germinans*” de 1981 a 2020.

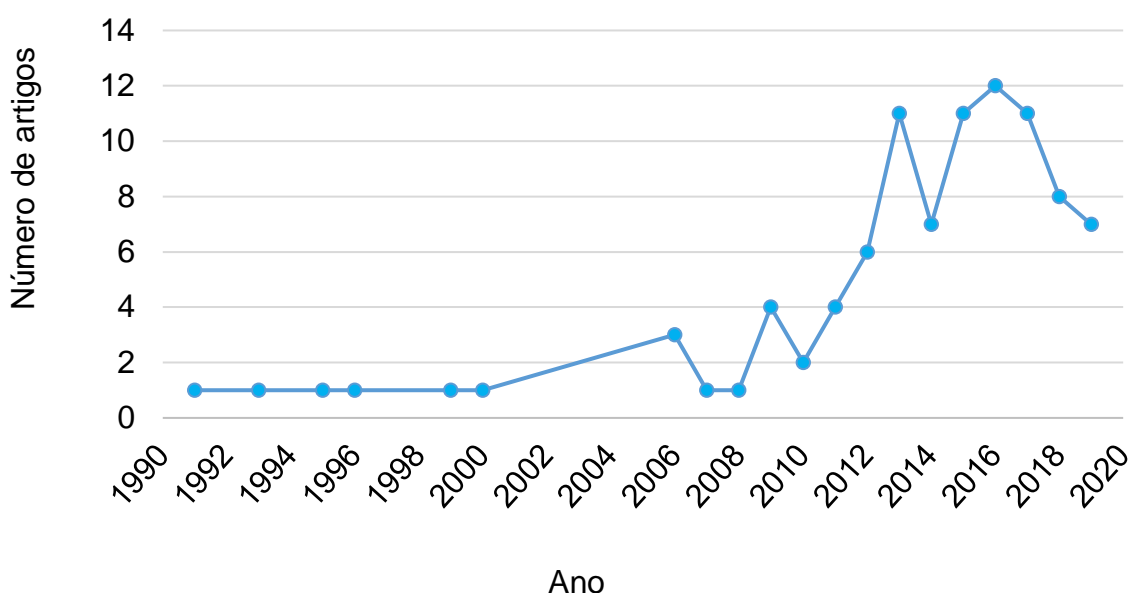


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

A evolução por ano das publicações indexadas na base de artigos *Web of Science* com a palavra-chave “*Avicennia schaueriana*” é apresentada na Figura 4. Observa-se que as

publicações tiveram início em 1991, com um registro, e com aumento no número ao longo dos anos, tendo 2016 como o ano com maior número de artigos, 12 registros. As publicações dos últimos 10 anos representam 88,29% do total de documentos e mostram um aumento do interesse de pesquisas sobre *A. schaueriana*. Alguns atributos defendidos por autores como Tomlinson (2016) e Araújo *et al.* (2018) é que há grande semelhança entre as espécies de *Avicennia*, sendo descritas em níveis taxonômicos e até mesmo moleculares nos últimos anos.

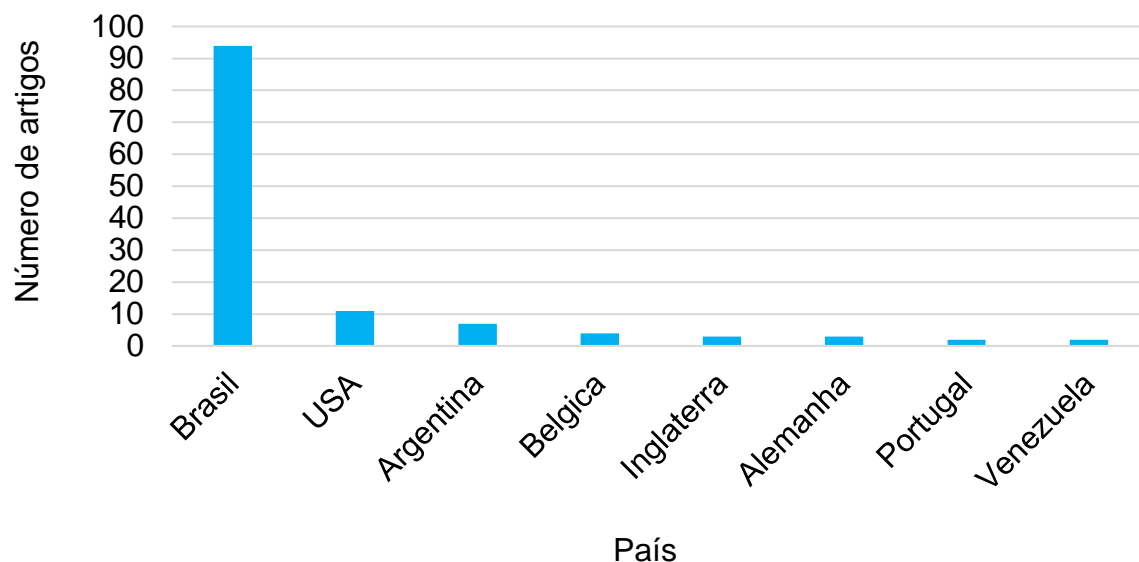
Figura 4 - Evolução anual de artigos indexados na Web of Science com a palavra-chave “*Avicennia schaueriana*” de 1981 a 2020.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Para esta espécie, o Brasil é o país com o maior número de artigos indexados na base de artigos *Web of Science*, com 94 registros, representando 64,60% do total de publicações. Os Estados Unidos são o segundo mais representado com 11 artigos indexados (8,73%), seguido da Argentina (n=7), Bélgica (n=4), Inglaterra (n=3), Alemanha (n=2), Portugal (n=2) e Venezuela (n=2) (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição das publicações indexadas por país na base Web of Science com a palavra-chave “*Avicennia schaueriana*” de 1981 a 2020.

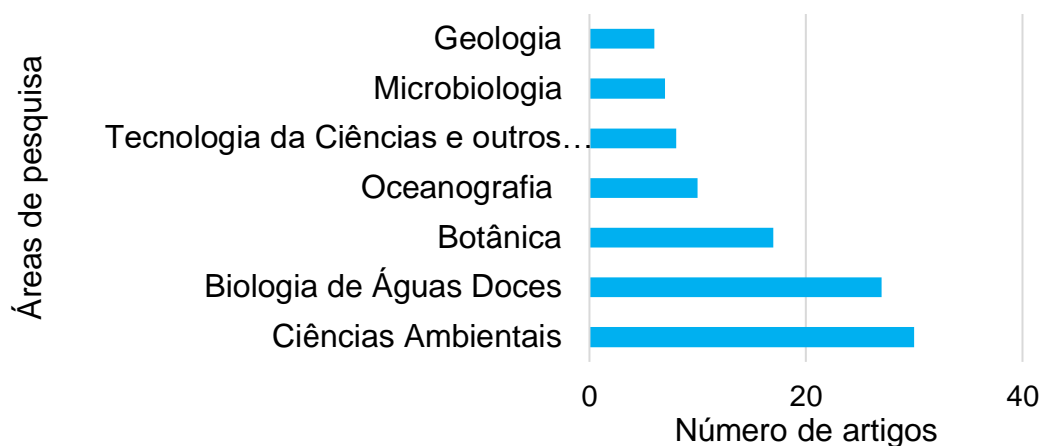


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Ao verificar as principais áreas a qual os artigos foram indexados utilizando o descritor “*Avicennia schaueriana*” (Figura 6), observa-se maior participação em estudos ligados também à área de Ciências Ambientais, com 30 registros. Biologia de Águas Doces e Botânica também apresentaram número expressivo, com 27 e 17 registros respectivamente, e Oceanografia, Tecnologia das Ciências e outros tópicos, Microbiologia e Geologia apresentaram menor quantidade. As áreas com maior participação são semelhantes a verificada para “*Avicennia germinans*”, onde as pesquisas tiveram o maior foco em estudos na área relativa a Ciências Ambientais, destacando a importância ecológica e econômica destas espécies (STOKMANN *et al.*, 2015).



Figura 6 - Distribuição das publicações indexadas por áreas de pesquisa na base Web of Science com a palavra-chave “*Avicennia schaueriana*” de 1981 a 2020.

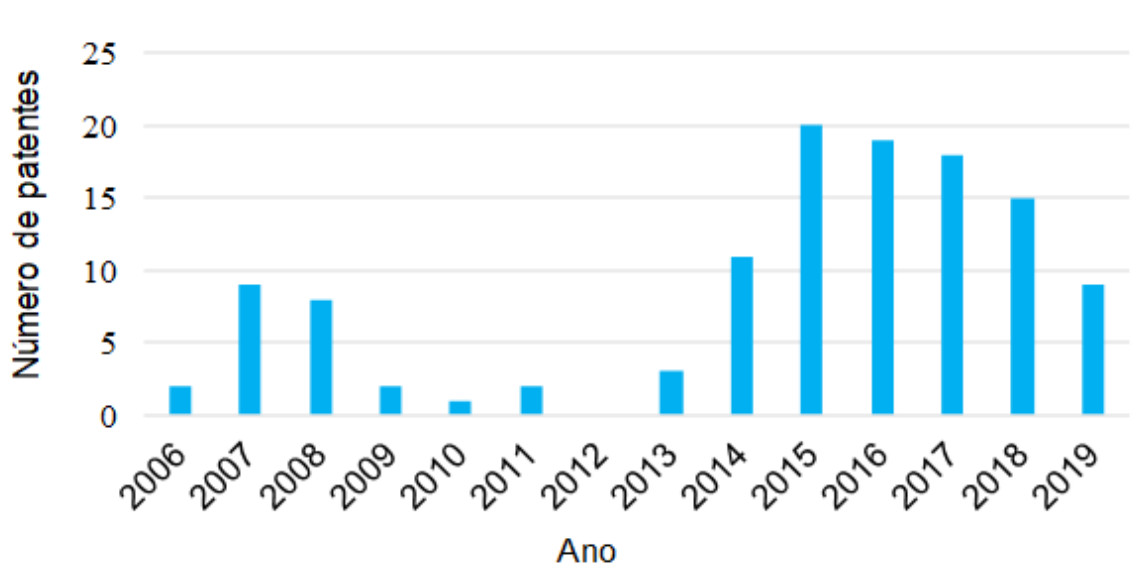


Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

As primeiras patentes depositadas sobre o gênero ocorreram em 2006 (Figura 7) com foco principal na busca por genes responsáveis por conferir tolerância as plantas sob estresse salino (PARIDA e VENKATRAMAN, 2007; PARIDA, ANGELA e VENKATRAMAN, 2007). Após um período de poucos pedidos de depósitos, houve uma intensificação de registros após 2014 motivado pelos estudos na área de tolerância a salinidade dos representantes de *Avicennia*.

As espécies do gênero, assim como outras que crescem em condições altas e moderadas de estresse salino, apresentam estratégias moleculares para responder a alta salinidade e, tendo em vista que o estresse salino é responsável por perdas severas na produtividade da agricultura em escala global, o entendimento desse processo atraiu a atenção de pesquisadores a fim de elucidar esse fenômeno (WANG *et al.*, 2014). Com maior interesse gerado sobre o grupo, as tecnologias depositadas em seguida foram direcionadas para o uso medicinal e como alimento (CHAOTIAN, 2007; WEIDONG, 2008). Para *A. schaueriana* duas patentes foram registradas, a primeira refere-se a montagem de um protótipo para o tratamento de água e a segunda é sobre o processo de obtenção de creme com propriedades cicatrizante de *A. schaueriana* (MOREIRA, 2019; LOPES *et al.*, 2019), ambas tendo como país depositante o Brasil.

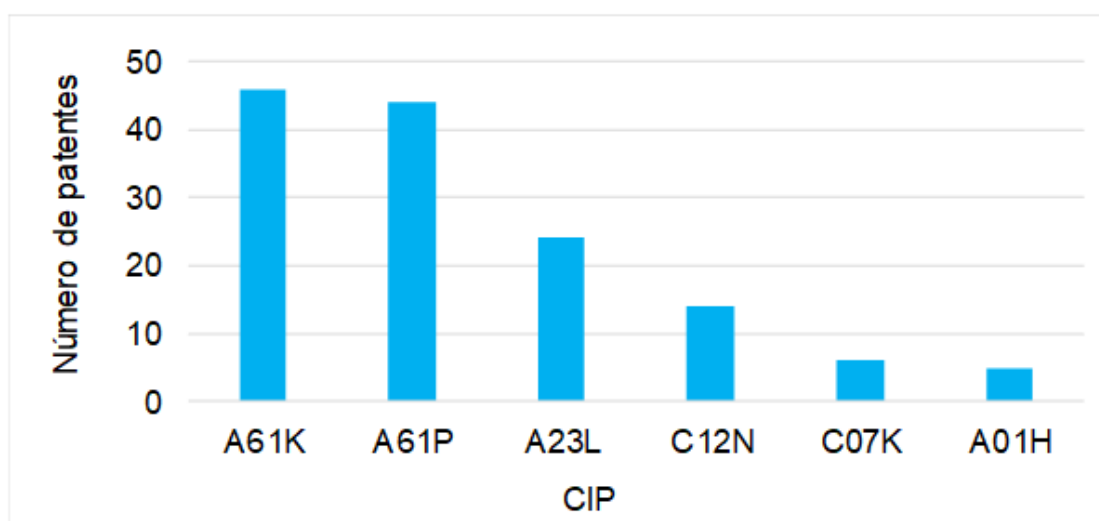
Figura 7 - Evolução anual de depósitos na WIPO com a palavra-chave “*Avicennia*” de 2006 a 2019.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2021)

Dentre os 119 depósitos de patentes encontrados, o maior número foi distribuído nas subclasses A61K (que trata de preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas) e A61P (direcionada as atividades terapêuticas de compostos químicos ou de preparações medicinais) com 46 e 44 documentos, respectivamente.

Figura 8 - Distribuição por CIP de patentes depositadas na WIPO com a palavra-chave “*Avicennia*” de 2006 a 2020.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2020)

As classes A23L, C12N, C07K e A01H também apresentaram número considerável de registros (Figura 8). O CIP prioritário para áreas ligadas a atividades biológicas tem seguido o

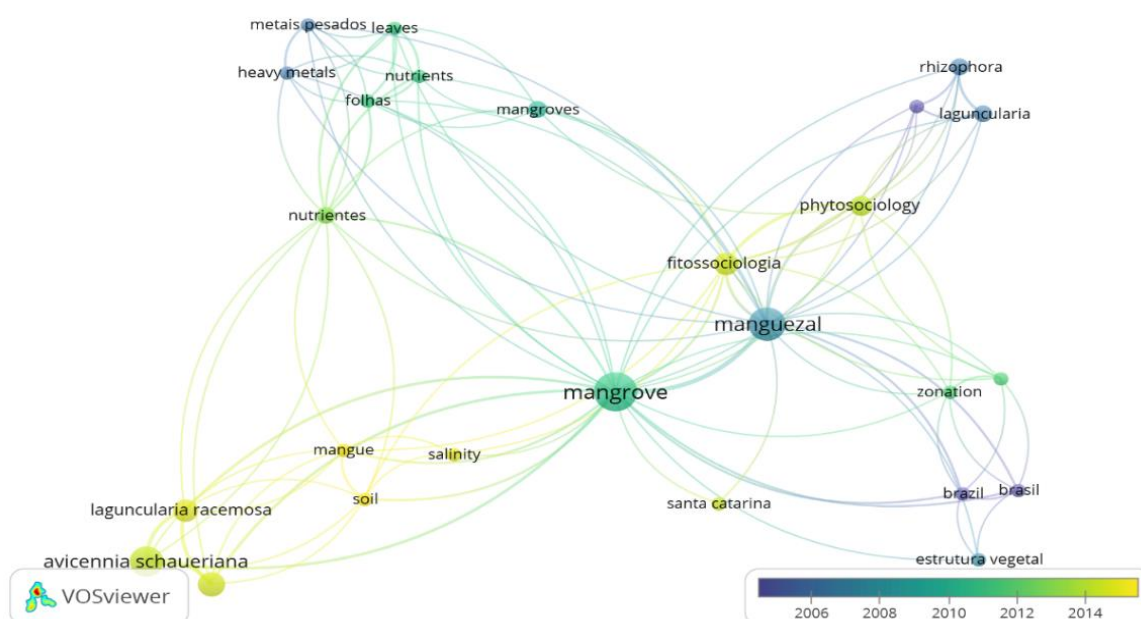


salinidade, e que no interior de manguezais, onde o fluxo de maré é menor e pouco frequente, estas espécies mostram preferência por solos mais secos em níveis topograficamente mais altos.

*Avicennia schaueriana* mostra-se amplamente dispersa nas Antilhas e por toda a América do Sul na Costa Atlântica, desde as Guianas até o Uruguai (MORI *et al.*, 2015; AZEVEDO e BRAZ, 2016; TOMLINSON, 2016). É uma das espécies arbóreas mais comuns nos manguezais brasileiros, mostrando interação (Figura 10) com as demais espécies ocorrentes no mesmo ecossistema, bem como sofre forte influência do solo e da salinidade, podendo estar relacionado com influência marinha, assim como pontuado por Soares *et al.* (2008) e Petri *et al.* (2011). Em estudos fitossociológicos abrangendo outras espécies de mangues (LONDE *et al.*, 2013; CALEGARIO *et al.*, 2015; MADI *et al.*, 2016), as espécies mais abundantes são *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*, isso pode explicar a relação das espécies com os estudos de estrutura, apresentado no mapa (Figura 10).

Dentre as redes de interações correlacionadas, os estudos fitossociológicos (Figura 10) merecem destaque, visto que contribuíram com os estudos acerca da regeneração de árvores do manguezal, uma vez que a interferência antrópica leva a modificações na composição de espécies e estrutura da vegetação, como apontado por Berger e Wolff (2010).

Figura 10 - Mapeamento de termos relevantes relacionados ao termo “*Avicennia schaueriana*”.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo com dados da Base Scielo, com o aporte do *software* VOSviewer para a geração do mapa, 2021

Outros autores relatam a importância dos estudos fitossociológicos como instrumento para reconhecer e classificar os padrões na comunidade em manguezais (HOLLOWELL, 2009; SATYANARAYANA *et al.*, 2010; MAIA e COUTINHO 2012; ALVES *et al.*, 2013; AUNG *et al.*, 2013; SOUZA e SAMPAIO, 2013; BERNINI *et al.*, 2014; SCHMIEGELOW e GIANESELLA, 2014; ARAÚJO *et al.*, 2018).

Portanto, os dados apresentados apontam a discreta participação do Brasil quanto a contribuição nas pesquisas, o que poderia ser referenciado pelo fato de a maioria dos estudos vinculados a *Avicennia* ou até mesmo manguezal sejam produzidos por demais países acima citados, relacionando que não seja suficiente apreender os dados e deter o ecossistema, mas sim a divulgação através de indexadores reconhecidos mundialmente.

## **Conclusão**

Tendo em vista os resultados discutidos, percebe-se que há número considerável de publicações sobre *Avicennia*, porém no Brasil ainda há poucos trabalhos publicados, demonstrando o potencial para estudos utilizando este táxon. Contudo, comprova-se ainda que, no âmbito nacional, faz-se necessário incentivo maior a pesquisar espécies deste ecossistema. As expectativas futuras acerca das aplicações das espécies permeiam as ciências ambientais, o que é notório visto as patentes reconhecidas. Vale destacar ainda, que muitas das patentes desenvolvidas permeiam as mesmas espécies, mas visto que não serem citadas as sinonímias das espécies estudadas, merece-se um maior cuidado quanto a taxonomia destas espécies.

Os resultados apontam, ainda, que existe interesse tanto científico quanto tecnológico nessas espécies, haja visto o crescente número de publicações nos últimos dez anos. Todavia, o campo ainda é aberto, principalmente na área tecnológica, tendo como base o número de patentes ainda ser discreta.

Uma vez sabido da importância destas espécies, esta prospecção é de relevância especial para pesquisadores que trabalham com *Avicennia germinans* e *A. schaueriana*, pois é necessário um incentivo maior em desenvolver pesquisas voltadas para as áreas de tecnologia e inovação, tais trabalhos contribuirá para a comunicação entre a comunidade acadêmica e as empresas.

## **Agradecimentos**

Os autores gostariam de agradecer ao CNPQ e CAPES pelo apoio financeiro concedido através de bolsas de pós-graduação, fundamentais para a realização deste artigo.

## Referências

- AGORAMOORTHY, G.; CHANDRASEKARAN, M.; VENKATESALU, V.; HSU, M. J. Antibacterial and antifungal activities of fatty acid methyl esters of the blind-your-eye mangrove from India. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 739-42, dez. 2007.
- BEHBAHANI, B. A.; TABATABAEE, F.; SHAHIDI, F.; MOHEBBI, M. Antimicrobial activity of *Avicennia marina* extracts ethanol, methanol & glycerin against *Penicillium digitatum* (citrus green mold). **Scientific Journal of Microbiology**, São Paulo, v.1, n.7, p.147-151, dez. 2012.
- ALVARENGA, E. M.; FREITAS, R. M.; MEDEIROS, J. R. Prospecção tecnológica da atividade biológica, com ênfase em atividade antidiarreica, de carvacrol e acetato de carvacrolila. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, Aracaju, v. 5, n. 1, p. 1639-1651, mar. 2015.
- ALVES, R. R. N.; SASSI, R.; SANTANA, G. G. The mangrove forest at Bucatu Lagoon, Northeast Brazil: structural characterization and anthropic impacts. **Tropical Conservation Science**, Thousand Oaks, v. 6, n. 2, p. 254-267, jun. 2013.
- AMPARO, K. K. S.; RIBEIRO, M. C. O.; GUARIEIRO, L. L. N. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Minas Gerais, v. 17, n. 4, p. 195-209, dez. 2012.
- ARAÚJO, L.; SILVA, M. F. S.; GOMES, D. N.; SOUSA, M. B.; MAYO, S. J.; ANDRADE, I. M. Structure of a disturbed mangrove in the Rio Parnaíba delta, Piauí, northeast Brazil. **Feddes Repertorium**, London, v. 129, n. 2, p. 75-91, jun. 2018.
- AUNG, T. T.; MOCHIDA, Y.; THAN, M. M. Prediction of recovery pathways of cyclone-disturbed mangroves in the mega delta of Myanmar. **Forest Ecology and Management**, v. 293, n. p. 103-113, abr. 2013.
- BRAZ, D. M.; AZEVEDO, I. H. F. Acanthaceae da Marambaia, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Hoehnea**, São Paulo, v. 43, n. 3, p. 497-516, jul-set, 2016.
- BERGER, U.; WOLFF, M. **System processes and forest development**. In: U. Saint-Paul & H. Schneider (eds.), *Mangrove dynamics and management in North Brazil*. Springer Verlag, Heidelberg, pp. 143-151. 2010.
- BERNINI, E.; SANTOS, C. F. N. R.; LAGE-PINTO, F.; CHAGAS, G. P.; REZENDE, C. E. Fitossociologia de florestas de mangue plantadas e naturais no estuário do Rio das Ostras, Rio de Janeiro, Brasil. **Biotemas**, Santa Catarina, v. 27, n. 1, p. 37-48, mar, 2014.
- BHIMBA, B. V.; MEENUPRIYA J.; JOEL, A. L.; NAVEENA, D. E.; KUMAR, S.; THANGARAJ, M. Antibacterial activity and characterization of secondary metabolites isolated from mangrove plant *Avicennia officinalis*. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, Maharashtra, v. 3, n. 7, p. 544-546, ago, 2010.
- BOUSQUET-MÉLOU, A.; FAUVEL, M. Inter-specific variation in the concentration of two iridoid glucosides in *Avicennia* L. (Avicenniaceae Endl.). **Biochemical Systematics and Ecology**, England, v. 26, n. 1, p. 935-940, mai, 1998.

- CALDEIRANI, F. A.; ORLANDELLI, R. C.; PAMPHILE, J. A. Compostos bioativos com propriedades antitumorais produzidos por fungos endofíticos. **Revista Uningá Review**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 79-86, fev, 2016.
- CALEGARIO, G. et al. Mangrove Forest Structure in the São João River Estuary, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Novi Sad, v. 31, n. 3, p. 653-660, mai, 2015.
- CARNEIRO, D. B.; BARBOZA, M. S. L.; MENEZES, M. P. Plantas nativas úteis na Vila dos Pescadores da Reserva Extrativista Marinha Caeté-Taperaçu, Pará, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 1027-1033, dez, 2010.
- CHAOTIAN, W. et al. **External-applied traditional chinese medicine bag and using method thereof**. CN101099839. Patente. 2007.
- CINTRÓN, GILBERTO; SCHAEFFER-NOVELLI, YARA. **Introducción a la ecología del manglar**. Montevideo, UNESCO/ROSTLAC. 168 p., 1983.
- CLOUGH, B. F. Growth, salt balance of the mangroves, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Rhizophora stylosa* Griff., in relation to salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 11. n. 5 p. 419-430, dez, 1984.
- DODD, R. S.; RAFII, Z. A.; BOUSQUET-MÉLOU, A. Evolutionary divergence in the pan-Atlantic mangrove *Avicennia germinans*. **New Phytologist**, v. 145, n. 1, p.115-125, dez, 2000.
- ECK, N. V.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84. n. 2, p. 523-538, dez, 2010.
- FAO. **The World's Mangroves (1980 – 2005)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations Forestry Paper - 153. Roma, 2007. Disponível em [www.fao.org/forestry/mangroves](http://www.fao.org/forestry/mangroves). Acesso em 29 de abr. 2020.
- FENG, Y. et al. Iridoid glucosides and flavones from the aerial parts of *Avicennia marina*. **Chemistry & Biodiversity**, Zurich, v. 3, n. 7, p. 799-806, jul, 2006.
- FERNANDES, R. T. V. **Recuperação de manguezais**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 305-310, 2012.
- Flora do Brasil, *Avicennia* in: **Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB79916>. Acesso em 10 abr. 2020.
- FOGLIO, M. A. et al. Plantas medicinais como fonte de recursos terapêuticos: um modelo multidisciplinar. **Construindo a história dos produtos naturais**, v. 7, p. 1-8, 2006.
- FUME, M. (Org). **Atlas dos Manguezais do Brasil** - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. 176 p. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas\\_dos\\_manguezais\\_do\\_brasil.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf). Acesso em 29 abr. 2020.



- 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, ago, 2010.
- HOLLOWELL, T. H. Plant community structure, fire disturbance, and recovery in mangrove swamps of the Waini Peninsula, Guyana. **Contributions to the Study of Biological Diversity, Centre for the Study of Biological Diversity**, v. 3, 2009. 166p.
- FRANCIS, J. K.; LOWE, C. A. *Avicennia germinans* (L.) L. In: FRANCIS, J. K. J; LOWE, C. A.; TRABANINO, S. (eds.) *Bioecología de arboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales*. United States Department of Agriculture Rio Piedras, Puerto Rico, pp. 59-64. 2000.
- JERATH, M. et al. The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA. **Environmental Science & Policy**, v. 66, n. 1, p. 160-169, dez, 2016.
- KUPFER, D.; TIGRE, P. B. Prospecção Tecnológica. In: CARUSO, L. A.; TIGRE, P. B. (Org.). **Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico**. Montevideo: OIT/CINTERFOR, 2004.
- LONDE, V. et al. Estrutura da vegetação de mangue associada ao gradiente de inundação no litoral norte do Espírito Santo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n.4, p. 629-637, ago, 2013.
- LOPES, C. M. I.; DE SOUZA, I. A.; VIEIRA, J. R. C.; SÁ, J. G. A.; LEAL, L. B.; EVÊNCIO, L. B. **Creme de *avicennia schaueriana* e processo de obtenção**. BR102018010514. Patente. 2019.
- MAIA, R. C.; COUTINHO, R. Structural characteristics of mangrove forests in Brazilian estuaries: a comparative study. **Revista de Biologia Marina y Oceanografía**, Valparaíso, v. 47, n. 1, p. 87-98, mar, 2012.
- MADI, A. P. L. M. et al. Estrutura do componente de regeneração natural e arbóreo de dois manguezais no estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159-170, jan-mar, 2016.
- MMA. **Zona Costeira Marinha**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha.html>. Acesso em 2 abril de 2020.
- MMA-Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento das áreas de manguezais do Brasil**. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha/manguezais>. Acesso em 9 mar. 2020.
- MOREIRA, Í. T. A. **Sistema para tratamento de águas, solos e sedimentos poluídos por petróleo, metais pesados, efluentes industriais e lodo de esgoto**. BR102017027964. Patente. 2019.
- MORI, G. M.; ZUCCHI, M. I.; SOUZA, A. P. Multiple-Geographic-Scale Genetic Structure of Two Mangrove Tree Species: The Roles of Mating System, Hybridization, Limited Dispersal and Extrinsic Factors. **PLoS ONE**, Califórnia, v. 10, n. 2, p. 1-23, fev, 2015a.

- MORI, G. M.; ZUCCHI, M. I.; SAMPAIO, I.; SOUZA, A. P. Species distribution and introgressive hybridization of two *Avicennia* species from the Western Hemisphere unveiled by phylogeographic patterns. **BMC Evolutionary Biology**, v. 15, n. 61, p. 1-15, abr, 2015b.
- NAGELKERKEN, I. et al. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. **Aquatic botany**, v. 89, n. 2, p. 155-185, ago, 2008.
- ITO, C. et al. Chemical constituents of *Avicennia alba*. Isolation and structural elucidation of a new naphthoquinone and their analogues. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, Japão, v. 48, n. 1, p. 339-343, abr, 2000.
- PARIDA, A.; VENKATRAMAN, G. **Abiotic stress tolerant gene from *Avicennia marina* encoding a protein**. CA2648516. Patente. 2007.
- PARIDA, A.; ANGELA, P. M.; VENKATRAMAN, G. Gene desidrina da *Avicennia marina* responsável por conferir tolerância ao sal nas plantas. CA2621981. Patente. 2007.
- PETRI, D. J. C. et al. Distribuição das espécies e estrutura do manguezal do rio Benevente, Anchieta, ES. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 107-116, set, 2015.
- PROFICE, S. R. et al. Acanthaceae. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil, Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB79916>. Acesso em 20 abr. 2020.
- SATYANARAYANA, B. et al. Mangrove species distribution and abundance in relation to local environmental settings: a case-study at Tumpat, Kelantan Delta, east coast of peninsular Malaysia. **Botanica Marina**, v. 53, n. 1, p. 79-88, jan, 2010.
- SCIELO. Scientific Electronic Library Online. Disponível em: <https://search.scielo.org>. Acesso em 29 abr. 2020.
- SCHMIEGELOW, J. M. M.; GIANESELLA, S. M. F. Absence of zonation in a mangrove forest in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 2, p. 117-131, jul, 2014.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal**: ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: **Caribbean Ecological Research**, p. 7. 1995.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Mangue e manguezal**. Atlas dos manguezais do Brasil, p. 17-22, 2018.
- SOARES, M. L. G. et al. Caracterização das florestas de mangue do complexo estuarino de Caravelas (Bahia, Brasil). **Boletim técnico-científico do CEPENE**, Crato, v. 16, n. 5, p. 23-41, dez, 2008.
- SOUZA, M. M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. Estrutura dos mangues em áreas pouco antropizadas e em regeneração no rio Pacoti, CE. **Caderno de Cultura e Ciência**, Crato, v. 12, n. 2, p. 32-43, dez, 2013.
- STOCKMANN, U. et al. Global Soil Organic Carbon Assessment. **Global Food Security**, v. 6, p. 9-16, out, 2015.

SUBRAHMANYAM, C. et al. Bioactive diterpenes from the mangrove *Avicennia officinalis* Linn. **Indian Journal of Chemistry**, v. 45, n. 1. p. 2556-2557, nov, 2006.

SUGANTHY, N.; PANDIAN, S. K.; DEVI, K. P. Cholinesterase inhibitory effects of *Rhizophora lamarckii*, *Avicennia officinalis*, *Sesuvium portula castrum* and *Suaedamonica*: mangroves inhabiting an Indian coastal area (Vellar Estuary). **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, v. 24, n. 1, p. 702-707, jun, 2009.

TARIQ, M. et al. Use of *Avicennia marina* in the control root infecting fungi in okra and mash bean. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 38, n. 3, p. 811-815, 2006.

TOMLINSON, P. B. **The Botany of Mangroves**. New York: Cambridge University Press, 2. ed. 2016. 418p.

WANG, L. et al. Proteomic analysis of salt-responsive proteins in the leaves of mangrove *Kandelia candel* during short-term stress. **PLoS One**, California, v. 9, n. 1, jan, 2014.

WEIDONG, H. **Technique for processing fruit with *Avicennia marina***. CN101268796. Patente. 2008.

WELSH, T. S. Bibliometrics and Scientometrics. **Qualitative and Quantitative Methods in Libraries (QQML)**, v. 1, n. 3, p. 1-3, jun, 2015.

WIPO. **Classificação Internacional de Patentes in WIPO**. Disponível em: <https://www.wipo.int/classificacoes/ipc/en/>. Acesso em 30 de abr. 2020.

WIPO. *Mangrove* in WIPO. Disponível em: <https://patentscope.wipo.int/search/pt/result.jsf>. Acesso em 03 abr. 2020.

ZHENG, C. et al. Antiproliferative metabolites from the endophytic fungus *Penicillium* sp. FJ-1 isolated from a mangrove *Avicennia marina*. **Phytochemistry Letters**, v. 10, n. 2, p. 272-275, dez, 2014.

**MANUSCRITO 4 - Cenário dos estudos em sequestro de carbono em áreas de  
Manguezal**

## CENÁRIO DOS ESTUDOS EM SEQUESTRO DE CARBONO EM ÁREAS DE MANGUEZAL

Maria Gracelia Paiva Nascimento<sup>1</sup>, Graziela de Araújo Lima<sup>2</sup>; João Victor Araújo<sup>3</sup>, Cleiton Barroso Bittencourt<sup>4</sup>, Simon Joseph Mayo<sup>5</sup>, Ivanilza Moreira de Andrade<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFPI. Teresina, PI, Brasil. E-mail: [graceliapaiva@gmail.com](mailto:graceliapaiva@gmail.com)

<sup>2</sup>Mestranda em Botânica, Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS, Bahia, Brasil.

<sup>3</sup>Discente do curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal Delta do Parnaíba, *Campus* Ministro Reis Velloso

<sup>4</sup>Doutorando em Biotecnologia Vegetal (PPGBV/DQI), Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG, Brasil

<sup>5</sup> Pesquisador do Royal Botanic Gardens, Kew, Surrey TW9, UK.

<sup>6</sup>Docente do curso do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA, Universidade Federal do Piauí – UFPI – Teresina/PI – Brasil

### RESUMO

Os manguezais apresentam elevadas taxas de armazenamento de carbono, proporcionalmente maior que de florestas úmidas tropicais. Assim, objetivou-se realizar um estudo prospectivo da produção científica e tecnológica sobre o sequestro de carbono no ecossistema de manguezais. Foram utilizados bancos de dados nacionais e internacionais de artigos e patentes com palavras-chave: “*carbon sequestration*”, “*mangrove*” e/ou similares. Diversos estudos foram publicados sobre sequestro de carbono em manguezais (*Web of Science*=400 e *Scopus*=408), com número crescente a partir de 2011, que incluíam: avaliação de produtividade, quantificação de estoque de carbono, influencia de fatores abióticos e, no caso de patentes, melhoramento da capacidade de fixação de carbono em manguezais. São citadas espécies do gênero *Aegiceras* e *Avicennia*. Conclui-se que as preocupações globais com as emissões de CO<sub>2</sub> e a busca por fontes para seu armazenamento na superfície terrestre tem colocado os manguezais em posição de destaque. Palavras chave: CO<sub>2</sub>, Estoque de Carbono, Mudanças climáticas.

### SCENARIO OF CARBON SEQUESTRATION STUDIES ON MANGROVE AREAS

#### ABSTRACT

Mangroves have high rates of carbon storage, proportionally higher than those of tropical rainforests. Thus, the objective was to conduct a prospective study of scientific and technological production on carbon sequestration in the mangrove ecosystem. National and

international databases of articles and patents were used with keywords: “carbon sequestration”, “mangrove” and / or similar. Many studies have been published on carbon sequestration in mangroves (Web of Science = 400 and Scopus = 408), with an increasing number since 2011, which included: productivity assessment, quantification of carbon stock, influence of abiotic factors and, in the case of patents, improvement of the carbon fixation capacity in mangroves. Species of the genus *Aegiceras* and *Avicennia* are cited. It is concluded that global concerns about CO<sup>2</sup> emissions and the search for sources for their storage on the Earth's surface have placed mangroves in a prominent position.

Keywords: CO<sub>2</sub>; Climate changes; Carbon Stock.

## Introdução

O manguezal é um ecossistema costeiro de transição entre os ambientes terrestre e marinho, uma zona úmida característica de regiões tropicais e subtropicais (LACERDA, 2009; COSTA; ROCHA; CESTARO, 2014). Globalmente, 20% da área total de manguezais foi perdida entre 1980 e 2005 (SPALDING; KAINUMA; COLLINS, 2010). Ao contrário de outras formações vegetais, como de cobertura arenosa e dunas, a cobertura vegetal dos manguezais instala-se em substratos lodosos de influência de mares de água salgada ou salobra (Atlas dos manguezais do Brasil, 2018). As árvores presentes nestas zonas costeiras apresentam adaptações como raízes aéreas e folhas dotadas de glândulas que servem para eliminar o excesso de sal retido pelas plantas (COSTA; ROCHA; CESTARO, 2014). No Brasil, os mangues recobrem área aproximada de 13.762 km<sup>2</sup> e se estendem desde o extremo norte, no Oiapoque, Amapá (latitude 4° 30' N), até o seu limite sul em Laguna, Santa Catarina (latitude 28° 30' S) (COSTA; ROCHA; CESTARO, 2014).

O Brasil abriga três gêneros de espécies vegetais que compõem a flora de manguezais, compreendendo o total de seis espécies típicas de mangue: o mangue vermelho, o mangue-verdadeiro ou “sapateiro” (*Rhizophora mangle*, *R. harrisonii* e *R. racemosa*); o mangue-branco, o mangue manso ou tinteira (*Laguncularia racemosa*), e o mangue-preto, siriba ou sereiba (*Avicennia schaueriana* e *A. germinans*) (FAO, 2007; Atlas dos manguezais do Brasil, 2018).

A diversidade de espécies e a formação característica colocam os manguezais como um dos ecossistemas mais produtivos no planeta, sendo importantes sequestradores e estocadores de carbono na biomassa e no solo (FAO, 2007; LACERDA, 2009). E, o processo de sequestro de carbono por área de florestas de mangue é da mesma ordem de grandeza da observada em

florestas tropicais úmidas (COSTA; ROCHA; CESTARO, 2014; Atlas dos manguezais do Brasil, 2018).

Os vegetais, utilizando-se de sua capacidade fotossintética, fixam o CO<sub>2</sub> atmosférico, biossintetizando na forma de carboidratos, sendo por fim depositado na parede celular (RIBAS; ALMEIDA; AUGUSTO, 2009). Assim, a utilização do mecanismo de “sequestro de carbono” visa minimizar problemas tanto relativos à emissão dos gases causadores do efeito estufa, como também da utilização de melhores alternativas para absorção do CO<sub>2</sub> (FONSECA, DRUMMOND, 2003). A crescente preocupação mundial em relação às mudanças do clima no planeta, decorrentes, principalmente, das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases de efeito estufa (GEEs), como o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) tem levantado discussões sobre medidas para aumentar a capacidade de fixação desses gases e as áreas de manguezais tem se mostrado viáveis para este processo (FONSECA, DRUMMOND, 2003; CARVALHO, 2010).

Da mesma forma, as mudanças climáticas globais (por exemplo, temperatura elevada e aumento do nível do mar) também ameaçam os ecossistemas manguezais, pois modificam o ambiente intensificando diversos estresses de natureza abiótica (por exemplo, maior salinidade) e/ou introduzindo novos fatores bióticos na dinâmica do ecossistema (por exemplo, competição de espécies recém-chegadas) (GRANEK, RUTTENBERG, 2008). Além disso, a atuação humana direta, como aquelas promovidas pela expansão urbana e desmatamento tem acelerado o processo de modificação dos ecossistemas costeiros (ALONGI, 2015).

Muitos países possuem projetos com a finalidade de restaurar manguezais afetados por ação antrópica, e a crescente criação de novas áreas para a instalação desses projetos tem mostrado a grande preocupação da sociedade com a biodiversidade que sustenta, muitas vezes, diversas atividades econômicas das comunidades (HASHIM *et al.*, 2010; ZALDÍVAR-JIMÉNEZ *et al.*, 2010). Além disso, os manguezais são considerados grandes depósitos *sinks* para o sequestro de carbono da atmosfera influenciando diretamente a redução das taxas de CO<sub>2</sub> e mitigação do efeito estufa no planeta (FONSECA, DRUMMOND, 2003). Como estabelecido na Convenção do Clima e no Protocolo de Quioto, essas zonas podem ter um aporte financeiro e de transferência de tecnológicas para sua recuperação, porém, é ressaltada a necessidade de estudos detalhados sobre as projeções de acúmulo de carbono nas formas de biomassa vegetal (FONSECA *et al.*, 2003).

Nesse contexto, objetivou-se realizar uma prospecção científica e tecnológica acerca dos estudos envolvendo o sequestro de carbono no ecossistema de manguezais a partir de artigos científicos e patentes publicados e indexados em banco de dados nacionais e

internacionais. das publicações relacionando o sequestro de carbono no ecossistema de manguezais, analisando os números de artigos publicados, país e área de pesquisa, além de discutir os dados e prospectar quanto a importância dos estudos realizados nas zonas costeiras.

## **Materiais e Métodos**

A pesquisa foi realizada em junho de 2020 com base em informações disponíveis em bancos de dados de patentes e artigos científicos utilizando como palavras-chave: “*carbon sequestration*”, “*mangrove*” e as combinações “*carbon sequestration AND mangrove*”, “*carbon sequestration AND forest*” e *sequestration AND forest*. Para o levantamento de artigos científicos foram utilizadas as bases da Web of Science e Scopus. Quanto as buscas por patentes, utilizou-se as bases do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) do Brasil, do Banco Europeu de Patentes (EPO) e do Banco da Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO). A escolha das respectivas bases se deu devido à grande disponibilidade de trabalhos científicos e patentes indexadas.

No banco de dados nacional foram utilizados os termos em português e em inglês para bases internacionais, sendo considerados válidos os documentos que apresentassem as palavras-chave no título e/ou resumo. Os termos compostos foram pesquisados entre aspas para garantir uma maior precisão na busca. Optou-se por utilizar as bases Web of Science (WoS) e Scopus para elaboração dos gráficos. Os artigos indexados foram analisados quanto ao país, ano de publicação e área de interesse. As patentes foram analisadas quanto ao país depositante, o ano da concessão e a Classificação Internacional de Patentes - CIP (IPC, sigla em inglês). De acordo com o INPI, a CIP é reconhecida em nível internacional, sendo dividida em oito áreas de interesse tecnológico, que por sua vez é denominada classes (em ordem alfabética) e posteriormente subdivididas em subclasses hierárquicas. Os dados coletados foram organizados individualmente em tabelas e gráficos, utilizando o programa *Microsoft Excel 2019* de acordo com as categorias de análises (país, ano e área) visando à distribuição e avanços das publicações indexadas até a data de realização da referida pesquisa.

A análise bibliométrica seguiu a preconizada por Welsh (2015): definição de buscas, consulta à base de dados (Scielo), exportado em arquivo RIS, refinamento da pesquisa as principais interações com os descritores “*Mangrove*” e “*Carbon stock*”, utilizando *software VOSviewer*, versão 1.6.15 (ECK; WALTMAN, 2010), depois calculou-se os *Scores* para cada ocorrência, selecionando os termos mais relevantes.



## Resultados e Discussão

Utilizando o termo “*carbon sequestration*” nas bases *Web of Science* e Scopus registrou-se 29.403 e 30.372, respectivamente, enquanto para “*mangrove*” foram 16.629 documentos indexados na *Web of Science* e 18.320 na Scopus (Tabela 1). Com a combinação dos termos “*carbon sequestration AND mangrove*” obteve-se um menor número de documentos, 400 na *Web of Science* e 408 na Scopus. Utilizando as palavras-chave “*carbon stock AND mangrove*”, a base *Web of Science* retornou 370 artigos enquanto que na SCOPUS foram 305. Quando a busca foi direcionada para os estudos de sequestro de carbono em florestas (“*carbon sequestration AND forest*”) um número considerável de artigos fora registrado, 7.766 na *Web of Science* e 7.608 na Scopus.

As bases de patentes WIPO e EPO registraram o total de 1.389 e 758 documentos indexados, respectivamente, para os termos “*carbono sequestration*”. Para tecnologias desenvolvidas incluindo “*mangrove*” no título e/ou resumo, a WIPO (n=591) e EPO (n=492) também apresentaram número considerável de documentos. Quando a pesquisa foi direcionada para o ecossistema de manguezal em pesquisas relativas ao sequestro ou estoque de carbono (“*carbon stock AND mangrove*”) apenas uma patente foi publicada e indexada em ambas as bases internacionais. Em comparação, o número de patentes para “*sequestration AND forest*” foi maior, com 12 para WIPO e 13 para EPO.

Tabela 1 - Número de artigos e patentes de acordo com vários descritores utilizados nas diferentes bases.

<b>Descritores</b>	<b><i>Web of Science</i></b>	<b>Scopus</b>	<b>WIPO</b>	<b>EPO</b>	<b>INPI</b>
<i>carbon sequestration</i>	25,403	30,372	1,398	758	38
<i>mangrove</i>	16,629	18,320	591	492	6
<i>carbon sequestration AND mangrove</i>	400	408	0	0	0
<i>carbon stock AND mangrove</i>	370	305	1	1	0
<i>carbon sequestration AND forest</i>	7,766	7,608	12	13	0

Fonte: Autores (2021)

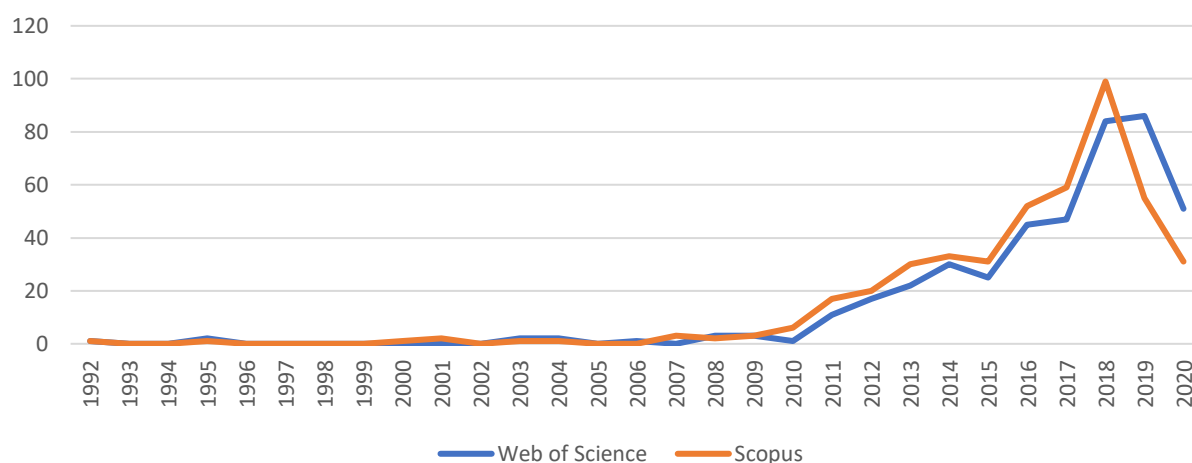
Os resultados mostram grande número de publicações de artigos sobre manguezais (“*mangrove*”), porém, somente pequena parcela está direcionada para a busca de informações da participação desse ecossistema como estoque de carbono quando comparado as publicações indexadas com as palavras-chave “*carbon sequestration AND forest*”. De fato, existe o contraste no número de pesquisas desenvolvidas em ecossistemas florestais terrestres e de manguezais, sendo a dissonância no número de publicações reflexo da maior extensão da área

física das florestas terrestres, aliado ao histórico de sua importância econômica para algumas regiões, impulsionando as pesquisas em diferentes áreas do conhecimento (GIRI *et al.*, 2010). No entanto, este retrato vem mudando tendo em vista que hoje sabe-se que o ecossistema de manguezais está entre os mais produtivos e biologicamente importantes do mundo, fornecendo bens e serviços únicos e essenciais para a sociedade, além do seu papel ecológico fundamental, protegendo as regiões costeiras contra inundações e furacões, redução da erosão das margens dos rios e manutenção da biodiversidade (JERATHA *et al.*, 2016).

A evolução das publicações de artigos indexados na *Web of Science* e Scopus envolvendo sequestro de carbono em ecossistema de manguezais (“*carbon sequestration AND mangrove*”) mostra que as publicações iniciaram em 1992, com uma publicação em ambas as bases (Figura 1). Desde a primeira publicação até o ano de 2010 não houve evolução em pesquisas sobre o tema, mas a partir de 2011 (n=11) observa-se um crescimento do número de artigos indexados, com 2018 e 2019 representando os anos com maior número em ambas as bases (*Web of Science*=81 e *Scopus*=71).

Os primeiros trabalhos sobre “*carbon sequestration AND mangrove*” foram realizados na década de 90, com os estudos de Downing *et al.* (1992), apresentados no Workshop de Palmas Del Mar - sumidouros naturais de CO<sub>2</sub>, com dados que forneceram uma síntese das pesquisas atuais sobre o ciclo do carbono, sumidouros de CO<sub>2</sub> e processos associados e fluxos. Ong *et al.* (1995) estudaram a estrutura e produtividade de um estande de 20 anos das florestas de manguezais de *Rhizophora apiculata* para compreender o ciclo do carbono e de outros nutrientes neste ecossistema.

Figura 1 - Evolução do número de artigos indexados nas bases Web of Science e Scopus utilizando como descritor “*Carbon Sequestration AND Mangrove*” entre 1992 a 2020.



Fonte: Autores (2021)

A partir de 2011 houve o impulsionamento massivo de pesquisas nas áreas que inclui o ecossistema de manguezais. Este fato se deve ao estabelecimento de novas políticas no âmbito mundial para uma nova agenda sustentável, que pretendia preservar habitats marinhos e costeiros, e que reconheceram esses ecossistemas como tendo papel chave para a mitigação da mudança climática global, devido sua capacidade de armazenamento de carbono. Neste contexto, foi criado o conceito de carbono azul, termo amplamente divulgado ao longo das últimas décadas, que se refere a todo carbono capturado e armazenado em ecossistemas costeiros, como, por exemplo, as florestas de manguezais (SANTOS; BELTRÃO; TRINDADE, 2019).

Ao longo da última década, as pesquisas sobre manguezal no contexto de sequestro de carbono se intensificaram, sendo publicados estudos sobre produtividade de manguezais situados em áreas com diferentes níveis de poluição no Delta do Níger, Nigéria (NUMBERE *et al.*, 2018), sobre estoque total de carbono no solo, vegetação acima e abaixo do solo em diferentes tipos de florestas de mangue na Malásia Peninsular (ROZAINAH *et al.*, 2018), quantificação de estoque de carbono orgânico total e determinação da sua distribuição espacial e vertical em solos de ecossistemas de mangue no Sri Lanka (PERERA *et al.*, 2019), exploração da mudança no estoque de carbono orgânico em floresta de galeria de *Avicennia marina* e um manguezal interior adjacente de *Avicennia marina* e *Aegiceras corniculatum* (LAMONT *et al.*, 2020) e análise da capacidade de sequestro de carbono de florestas de mangue (*Avicennia marina*) em relação à disponibilidade de nutrientes e gradientes de salinidade ao longo da costa do Mar Vermelho da Arábia Saudita (SHALTOUT *et al.*, 2020).

Os países que mais se destacam em pesquisas científicas sobre sequestro de carbono no ecossistema de manguezais foram os Estados Unidos (n=121), Austrália (79) e China (46) (Figura 2). Os Estados Unidos é um dos maiores emissores de gases causadores do efeito estufa nos últimos 165 anos e, por isso, em proporcionalidade de participação, o país Norte Americano tem incentivado pesquisas para mitigar os impactos causados pela emissão de CO<sub>2</sub> e, conjuntamente com outros países desenvolvidos, tem buscado promover políticas globais para recuperar os recursos florestais, incluindo as regiões que abrange os manguezais (WRI BRASIL, 2019). O Brasil aparece apenas na 9º posição, com 21 artigos indexados por pesquisadores ou em pesquisas realizadas no Brasil. Os resultados são distintos daqueles esperados, tendo em vista que a distribuição do manguezal mundial coloca o Brasil destaque, principalmente quanto a biodiversidade.



Tabela 2 - Distribuição dos artigos utilizando o descritor “*Carbon Sequestration AND Mangrove*” por área de interesse indexados na base Scopus.

Área de interesse	Registro	%
Ciências ambientais	212	38,27
Agricultura e ciências biológicas	182	32,85
Ciências da Terra	100	18,05
Ciências sociais	26	4,69
Bioquímica, genética e biologia molecular	20	3,61
Multidisciplinar	14	2,53

Fonte: Autores (2021)

Pratiwi e Haryono (2019) avaliaram o potencial do carbono sumidouros em mangue na Ilha de Java; Kusumaningrum e Haryono (2019) determinaram o sequestro de carbono armazenamento em várias zonas de mangue florestas no delta de Wulan e delta na costa norte de Java e o de Banerjee *et al.* (2020) que enfoca o potencial do sequestro de carbono de cinco dominantes mangue (*Avicenia marina* (Forssk.) Vierh, *Avicennia officinalis* L., *Excoecaria agallocha* L., *Rhizophora mucronata* Lam, e *Xylocarpus granatum* J.Koenig.) em Bhitarkanika e Mahanadi.

A busca por pedidos de depósitos de patentes na base de dados da WIPO e EPO utilizando os termos *Carbon stock AND mangrove* retornou apenas um documento em ambas as bases, tratando-se da mesma patente (tabela 3). A China é o país de origem da patente a qual trata de uma invenção para melhorar a capacidade de fixação de carbono a partir do plantio de floresta de mangue seguindo um conjunto de critérios para restauração e reabilitação do habitat para atender a condições florestais adequadas.

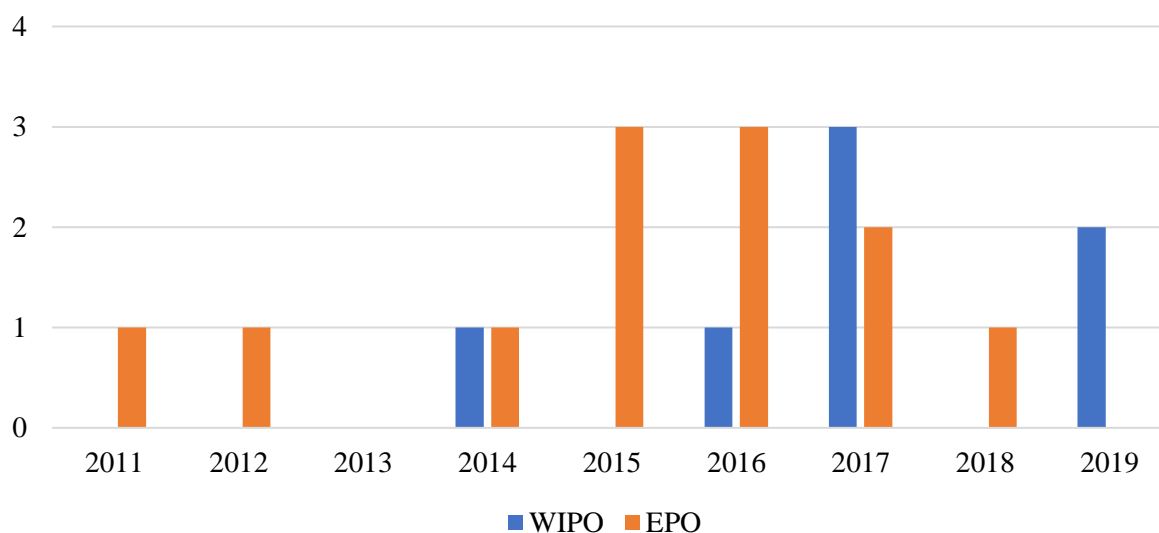
Tabela 3 - Patente depositada na base de dados da WIPO e EPO utilizando os termos “*carbon stock AND mangrove*”.

Número da patente (Ref.)	Ano	Inventores	Título da patente
CN106613735	2017	GUANGCHENG, C; SHUNYANG, C; BIN, C.	Método de plantio misto para melhorar a capacidade de fixação de carbono de vegetação de floresta de manguezais

Fonte: Autores (2021)

Um maior número de patentes foi registrado sobre o sequestro de carbono no contexto de florestas terrestres (*Carbon Sequestration AND forest*), tendo o primeiro registro sendo realizado em 2012, com a patente que envolve a medição da capacidade de sequestro de carbono da floresta de bambu e a criação de um método de preparação de fertilizantes para melhorar capacidade de sequestro (ZHOU *et al.* 2012). A maioria das patentes publicadas teve como objetivo fornecer uma invenção eficaz e viável para melhorar as taxas de CO<sub>2</sub> fixada nos mais diversos ecossistemas e espécies vegetais visando a diminuição das concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico. China apresentou melhor distribuição de patentes por país indexados nas bases WIPO e EPO utilizando como descritor “Carbon Sequestration AND forest” quando comparado a Índia com número menor de pedidos na base da WIPO e ausência de pedidos na EPO (Figura 3).

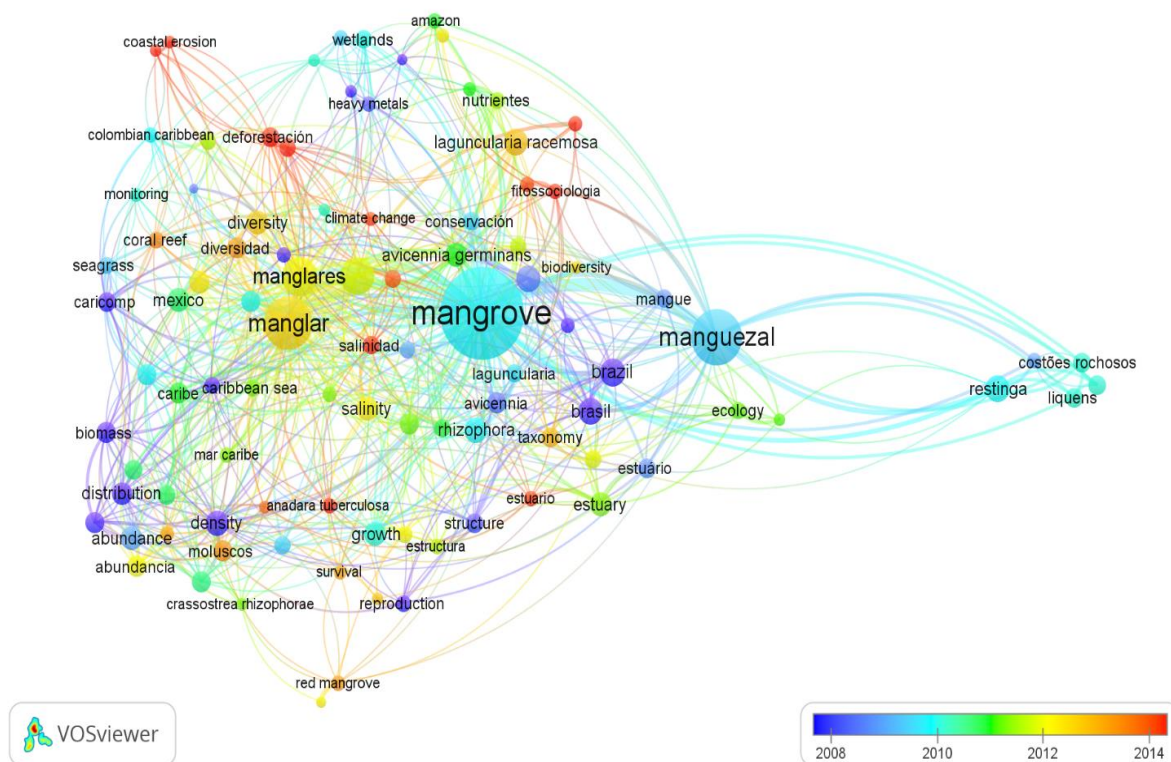
Figura 3 - Número de artigos indexados na base de patentes WIPO e EPO utilizando como descritor “*carbon sequestration AND forest*” por ano de depósito.



Fonte: Autores (2021)

Os resultados indicam que mangrove, manguezal e manglar atraem a atenção do público (Figura 4). Além disso, o termo Mangrove foi avaliado em várias escalas, como nacional (México), regional (mar do caribe,) e área protegida (ambientes costeiros e Amazônia), se relacionando com pesquisas ecológicas, como por exemplo composição, estrutura, diversidade, biomassa e fatores fisiológicos. Além de apresentarem ligações com táxons genéricos de mangue, *Avicennia*, *Rhizophora* e *Laguncularia*.

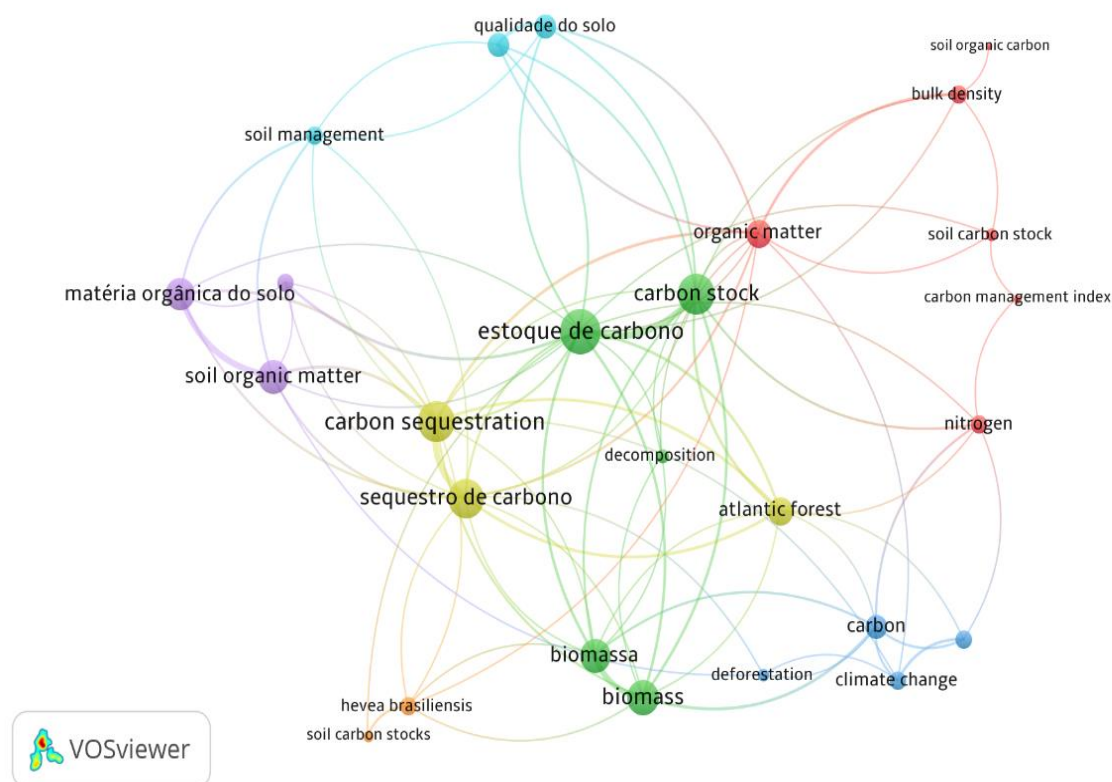
Figura 4 - Mapeamento de termos relevantes relacionados a “Mangrove”.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo com dados da Base Scielo, com o aporte do software VOSviewer para a geração do mapa, 2021

Dentre as redes de interações correlacionadas, termos relevantes relacionados a “Carbon stock” (Figura 5), possui forte interação com as palavras-chave biomassa, composição e quantificação e estoque e carbono no solo.

Figura 5 - Mapeamento de termos relevantes relacionados a “Carbon stock”.



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo com dados da Base Scielo, com o aporte do *software* VOSviewer para a geração do mapa, 2021

O solo é conhecido por ser o maior reservatório de carbono dentro de qualquer paisagem florestal e é controlado por ampla gama de fatores físicos e climáticos (ODEBIRI *et al.*, 2020). Vários estudos foram realizados sobre estoque total de carbono no solo, como os Lacerda (2009), Rozainah *et al.* (2018), Perera *et al.* 2019), Banerjee *et al.* (2020), Chen *et al.* (2020); Lamont *et al.*, (2020). Já Bernal *et al.* (2018) e Jakovac *et al.* (2020) e Shaltout *et al.* (2020) que relataram as taxas de acumulação de biomassa para um conjunto de atividades (regeneração, florestas plantadas e bosques, agroflorestas e restauração de manguezais) em todo o mundo e taxas globais de remoção de carbono (CO<sub>2</sub>).

Sahu *et al.* (2019) relataram que a composição das florestas e espécies de manguezais tem alguma influência sobre a produtividade primária líquida e o potencial de sequestro de carbono. A análise de regressão mostrou que o pH do solo e a densidade aparente influenciaram positivamente o potencial de sequestro de carbono. Odebiri *et al.* (2020) apontaram que entender o papel das florestas comerciais no armazenamento de carbono é essencial para



quantificar os balanços de carbono locais, regionais ou globais, que são valiosos para a mitigação das mudanças climáticas.

Nesse contexto, é verificável o crescente interesse pelo tema ao longo do tempo, com os países pesquisando sobre a temática e novas conexões em redes entre eles.

## **Conclusão**

É possível perceber que há um número considerável de publicações acerca do tema sequestro de carbono, porém, para o Brasil ainda há poucos trabalhos publicados. Quanto a área, são muitas as expectativas futuras acerca das aplicações dos estudos que permeiam as ciências ambientais, o que é notório visto as patentes reconhecidas serem do ecossistema manguezal, impulsionar empresas na produção de inventos com finalidade de mitigar as ações das mudanças climáticas globais.

Portanto, é imprescindível, que haja incentivo à pesquisa e inovação nessa área, visto que o efeito estufa trata-se de um problema crescente e estudos mais aprofundados nessa área servirá de incentivo para a recuperação da vegetação de manguezal, visando diminuir o nível de carbono na atmosfera e conseqüentemente diminuir os efeitos nocivos de CO<sub>2</sub> no ambiente.

## **Agradecimentos**

Os autores gostariam de agradecer ao CNPQ e CAPES pelo apoio financeiro concedido através de bolsas de pós-graduação concedidas aos autores, fundamentais para a realização deste artigo.

## Referências

- ALONGI, D. M. The impact of climate change on mangrove forests. **Current Climate Change Reports**, v. 1, n. 1, p. 30-39, jan, 2015.
- BANERJEE, A. K. et al. Land masses and oceanic currents drive population structure of *Heritiera littoralis*, a widespread mangrove in the Indo-West Pacific. **Ecology and evolution**, v. 10, n. 14, p. 7349-7363, jun, 2020.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Atlas dos manguezais do Brasil**. Brasília: ICMBIO, 2018.
- COSTA, D. F. S.; ROCHA, R. M.; CESTARO, L. A. Análise fitoecológica e zonação de manguezal em estuário hipersalino. **Mercator (Fortaleza)**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 119-126, jan-abr. 2014.
- DOWNING, W. L.; SHOSTELL, J.; DOWNING, J. A. Nonannual external annuli in the freshwater mussels *Anodonta grandis grandis* and *Lampsilis radiata siliquoidea*. **Freshwater Biology**, v. 28, n.1, p. 309-317, dez. 1992.
- DUKE, Norman C. et al. A world without mangroves?. **Science**, v. 317, n. 5834, p. 41-42, jul. 2007.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, dez. 2010.
- EPO – EUROPEAN PATENT OFFICE. [2018]. Disponível em:  
<[https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en\\_EP](https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP)> Acesso em: 10 jun. 2020.
- EXCEL. **Microsoft® Office Excel**. Planilha eletrônica. Copyright©, 2013-2019.
- FAO. **The World's Mangroves (1980 – 2005)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations Forestry Paper - 153. Roma, 2007. Disponível em:  
[www.fao.org/forestry/mangroves](http://www.fao.org/forestry/mangroves). Acesso em 12 mai. 2021.
- FONSECA, S. M.; DRUMMOND, J. A. Reflorestamento de manguezais e o valor de resgate para o seqüestro de carbono atmosférico. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 10, n. 3, p. 1071-1081, dez. 2003.
- 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, ago. 2010.
- GRANEK, E.; RUTTENBERG, B. I. Changes in biotic and abiotic processes following mangrove clearing. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 80, n. 4, p. 555-562, dez. 2008.
- HASHIM, R. et al. An integrated approach to coastal rehabilitation: mangrove restoration in Sungai Haji Dorani, Malaysia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 86, n. 1, p. 118-124, jan. 2010.

INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Informação tecnológica: Busca de patentes**. [2020]. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/informacao/busca-de-patentes> Acesso em: 2010 jun. 2020.

JERATH, M. et al. The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA. **Environmental Science & Policy**, v. 66, p. 160-169, dez. 2016.

KUSUMANINGRUM, P. B.; HARYONO, E. The potential of delta ecosystem in North Coast of Java in reducing CO2 emissions. *In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. p. 012071.

LACERDA, L. D. **Manguezais, Ecossistemas-chave sob Ameaça, Revista Scientific American Brasil** - Mudanças Climáticas e Desafios Ambientais. São Paulo: Duetto 2009. (Coleção Oceanos - origens, transformações e o futuro; v.1).

LAMONT, K.; MARANGONI, A. G.; PENSINI, E. 'Emulsion locks' for the containment of hydrocarbons during surfactant flushing. **Journal of Environmental Sciences**, v. 90, p. 98-109, apr. 2020.

LI, R. *et al.* Denitrifier communities differ in mangrove wetlands across China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 155, p. 111160, jun. 2020.

ONG, J. E. Allometry and portioning of the mangrove *Rhizophora apiculata*. **Forest Ecology and Management**, v.188, n. 1, p. 395-408, fev. 2004.

PRATIWI, H. F.; HARYONO, E. The potential contribution of the lagoon ecosystem as mangrove carbon sinks in Java. IOP Conf. Series: **Earth and Environmental Science**, v. 451. p. 1-8, 2020.

RIBAS, E. S.; DE JESUS, A. G.; AUGUSTO, G. Estimativa da biomassa e carbono existência: o caso do manguezal na área do sítio Sandi, Santos-SP. **Revista Ceciliana**, v. 1, n. 2, p. 39-43, 2009.

SANTOS, I. R.; BELTRÃO, N. E. S.; TRINDADE, A. R. Carbono "azul" nos manguezais amazônicos: conservação e valoração econômica. **Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 31, p. 18-28, nov. 2019.

SCIELO. **Scientific Electronic Library Online**. Disponível em: <https://search.scielo.org>. Acesso em: 02 dez. 2020.

SCOPUS. Disponível em: <https://www.scopus.com/>. Acesso em: 05 dez. 2020.

SHALTOUT, K. H. et al. Evaluation of the carbon sequestration capacity of arid mangroves along nutrient availability and salinity gradients along the Red Sea coastline of Saudi Arabia. **Oceanologia**, v. 62, n. 1, p. 56-69, jan-mar., 2020.

SPALDING, M.; KAINUMA, M.; COLLINS, L. **World Atlas of Mangroves**. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa. 2010. 319p.

WEB OF SCIENCE. Disponível em: <https://www.webofknowledge.com/>. Acesso em: 05 mai. 2020.

WELSH, T. S. Bibliometrics and Scientometrics. **Qualitative and Quantitative Methods in Libraries (QQML)**, v. 1, n. 3, p. 1-3, jun., 2015.

WIPO. **Classificação Internacional de Patentes in WIPO**. Disponível em: <https://www.wipo.com/>. Acesso em: 05 mai. 2020.

WIPO. **Mangrove** in WIPO. Disponível em: <https://patentscope.wipo.int/search/pt/result.jsf>. Acesso em 03 jun. 2020.

ZALDÍVAR-JIMÉNEZ, M. A. et al. Conceptual framework for mangrove restoration in the Yucatán Peninsula. **Ecological Restoration**, v. 28, n. 3, p. 333-342, set., 2010.

**MANUSCRITO 5 - Contribuição para a avaliação de biomassa e carbono estocados em bosques de mangue do Delta do Parnaíba, Maranhão, Brasil**

## CONTRIBUIÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO ESTOCADOS EM BOSQUES DE MANGUE DO DELTA DO PARNAÍBA, MARANHÃO, BRASIL

<sup>1</sup>Maria Gracelia Paiva Nascimento, <sup>2</sup>Simon Joseph Mayo; <sup>3</sup>Ivanilza Moreira de Andrade

<sup>1</sup>Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa de pós-graduação pelo PRODEMA/UFPI, *Campus* Ministro Petrônio Portella. E-mail: [graceliapaiva@gmail.com](mailto:graceliapaiva@gmail.com), Bolsista CAPES

<sup>2</sup>Pesquisador do Herbarium, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond TW9/UK. E-mail: [simonjosephmayo@gmail.com](mailto:simonjosephmayo@gmail.com).

<sup>3</sup>Docente do curso de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA/UFPI /UFPI; E-mail: [ivanilzaandrade@hotmail.com](mailto:ivanilzaandrade@hotmail.com)

### RESUMO

O estoque de carbono vivo acima do solo foi estimado a partir de valores para a biomassa, em quatro bosques de mangue distintos no setor maranhense do Delta do Parnaíba, Brasil. Os valores obtidos para o bosque mais alto na Ilha dos Poldros são parecidos aos já publicados para bosques de mangue em regiões equatoriais da Amazônia oriental brasileira e Gabão na África centro-oeste. Dado a diferença climática da região estudada, que sofre uma época seca anual bem marcada de 5 a 6 meses, os resultados do estudo indicam a heterogeneidade no estoque de biomassa e de carbono a ser esperada em setores diferentes do Delta e destacam a necessidade para amostragens mais amplas para obter estimativas mais exatas. Os resultados apresentados foram obtidos de apenas um componente do carbono total do ecossistema, e embora uma contribuição valiosa para futuras estimativas, deveriam ser consideravelmente menores dos valores totais, sendo que estudos prévios mostraram que até 80% do estoque total de carbono no ecossistema de manguezal é retido pelo carbono do solo. Para os fins de conservação, o estudo mostra que a porção do carbono e biomassa vivos acima do solo é muito maior nos bosques de mangue mais altos.

**PALAVRAS-CHAVE:** carbono total do ecossistema, Maranhão, zona equatorial, biomassa viva acima do solo, conservação de estoque de carbono

### ABSTRACT

Above ground living biomass estimates obtained from structural study of four distinct mangrove forest areas in the Maranhão sector of the Delta do Parnaíba, Brazil, were used to

calculate above ground living carbon stock. The values obtained for the tallest conserved forest area in the Ilha dos Poldros are similar to those previously published for the perhumid equatorial regions of east Amazonian Brazil, and Gabon in Central-West Africa. This a notable result, given the climate difference of the study region, which experiences a very distinct 5-6 month annual dry season, the results of the study demonstrate the heterogeneity in biomass and carbon stocks to be expected in different parts of the Delta area, and emphasize the need for wider sampling to obtain more accurate estimates. The present results measure only one component of total ecosystem carbon, and while they are a useful contribution to future total estimates, the latter will show considerably higher values, given that other studies have found that soil carbon can make up as much as 82% of total ecosystem carbon stocks in mangrove forests. For conservation purposes, the study shows that by far the greater part of living biomass and carbon stock is to be found in the tallest stands of mangrove forest.

**KEY-WORDS:** total ecosystem carbon, Maranhão, equatorial zone, above-ground living biomass, carbon stock conservation.

## INTRODUÇÃO

Florestas de mangue têm importância para o sequestro e estocagem de carbono, em particular no caso de ecossistemas marinhos ("blue carbon"), onde representam até 17% do total (ALONGI, 2020). A necessidade de preservar e restaurar ecossistemas de manguezal se faz ainda mais clara, quando se considera que a maior parte do carbono estocado encontra-se nos solos e sedimentos do que na própria vegetação dos bosques de mangue (KAUFFMAN *et al.*, 2018b), e além disso, o manguezal sequestra e estoca mais carbono no solo do que ecossistemas terrestres propriamente dito (KAUFFMAN *et al.*, 2018; ALONGI, 2020) Eum estudo de manguezais do Estado do Ceará, demonstraram que até 82% do carbono do ecossistema foi perdida com a retirada do manguezal e sua substituição pela criação de camarão, e que a maior parte do carbono perdido encontra-se nos solos. Estes fatos despontam que a conservação do manguezal tem uma importância dobrada do ponto de vista regional: a perda de manguezal reduz o sequestro de carbono proporcionalmente mais do que em outros ambientes, e sua transformação em agricultura ou hidroicultura resulta numa emissão proporcionalmente maior de dióxido de carbono para a atmosfera.

O Delta do Rio Parnaíba se encontra na junção dos setores da costa brasileira caracterizados por marés de grande amplitude ("macrotidal") e de amplitude intermediária

("mesotidal"), de acordo com a classificação de Magris & Barreto (2010), e nele ocorre uma área importante de floresta de mangue, especialmente no setor ocidental pertencente ao Estado do Maranhão. A estrutura e a estatura destas florestas (até mais de 40 m de altura) as se relacionam com as florestas mais para o oeste, tanto deste Estado como do Estado do Pará (Manuscrito 2). Toda a vegetação da área deltaica, inclusive o manguezal, é incluída na Área de Preservação Ambiental Delta do Parnaíba (ICMBio, 2020; 2021), uma condição legal que controla todo tipo de desenvolvimento industrial, agricultura e urbano dentro dos seus limites, para que sejam de ordem sustentável.

O manejo sustentável dos recursos naturais do Delta do Rio Parnaíba representa um desafio para toda organização dos domínios públicos e privados envolvidos na economia local, e havendo, com isso, grande indigência de informações científicas bem embasadas para guiar as normas de manejo. Porém, apesar do seu destaque como um dos pouquíssimos sistemas deltaicos de maior porte das Américas que até agora sofreu apenas impactos antrópicos relativamente moderados (PAULA FILHO *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2019; PORTELA *et al.*, 2020), faltam estudos científicos quanto a biomassa dos manguezais, sendo o único até hoje, o de Portela *et al.* (2020) sobre biomassa e estocagem de carbono no setor piauiense do Delta.

Este trabalho é baseado em estudo fitossociológico da estrutura de quatro bosques de mangue na porção maranhense do Delta, onde se encontra a maior parte dos manguezais da referidos para APA (Nascimento *et al.*, em construção). Nesta vertente, o objetivo com este trabalho é de fornecer subsídios para futuros estudos sobre a diversidade, densidade e quantidade dos estoques de biomassa e carbono, e se restringe a estimativas deste a partir do cálculo de biomassa viva acima do solo usando observações de dados fitossociológicos coletados acerca das espécies arbóreas, além de equações alométricas já publicadas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Autorizações**

Para uso dos dados coletados a partir de material genético em Área de Proteção Ambiental, este estudo teve o parecer do Sistema de Autorização e Informação da Biodiversidade (SISBIO) do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio (Nº 61641), bem como ao Patrimônio Genético/CTA sob o nº AE57515 no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), em atendimento ao previsto na Lei de nº 13.123/2015.



### **Fontes de dados**

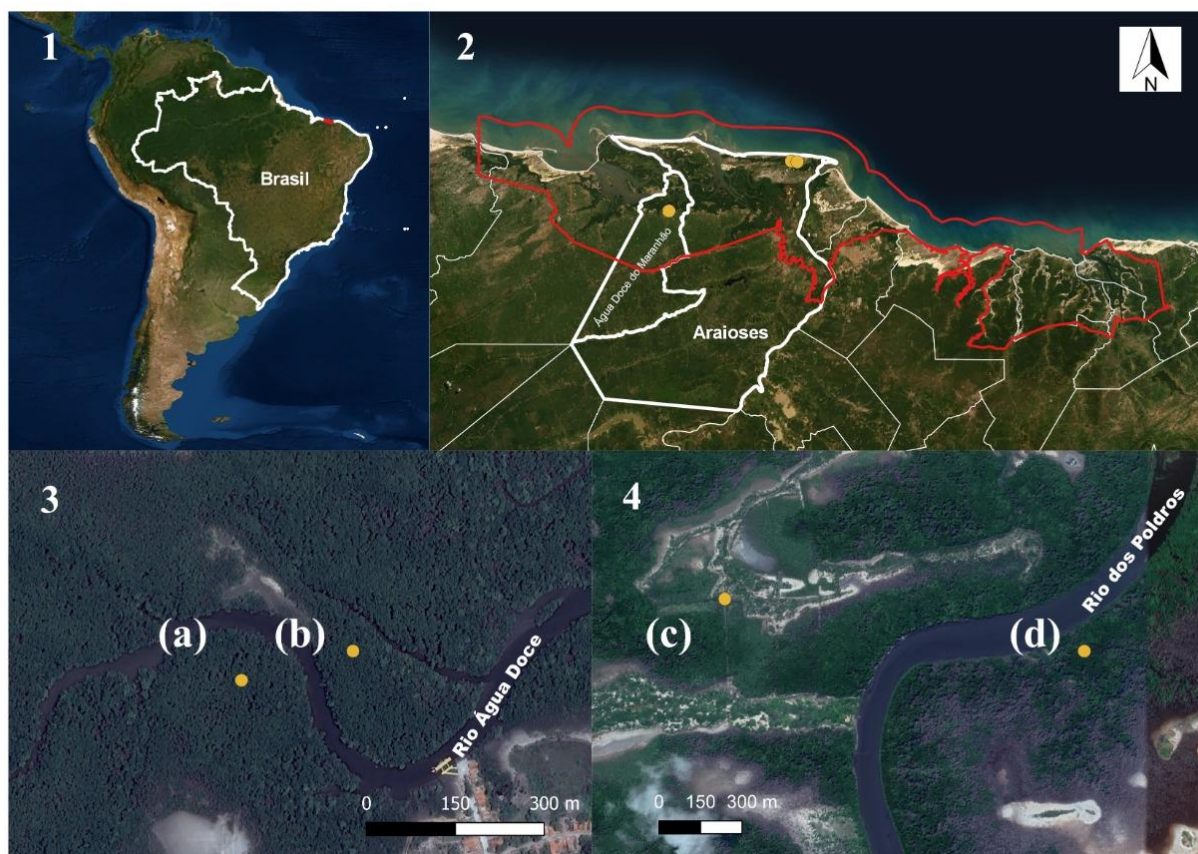
A principal fonte dos dados é um estudo, ver métodos apresentados em manuscrito 2, da estrutura fitossociológica de quatro bosques de mangue para maranhense do Delta do Parnaíba, ver métodos apresentados em manuscrito 2. A amostragem de cada bosque foi feita através de 30 parcelas, cada uma medindo  $10 \times 10$  m (área  $100 \text{ m}^2$ ), dispostas numa grade retangular e espaçadas a 10 m uma da outra. Maiores detalhes das áreas e dos parâmetros medidos e calculados são apresentados em manuscrito 2.

Em se tratando dos dados para a comparação demais artigos publicados, o presente estudo fora obtido de alguns estudos publicados realizados no Brasil, Guiana Francesa e África, i.e. localidades dentro do complexo Atlântico - Pacífico Oriental (Atlantic Eastern Pacific, AEP, TOMLINSON, 2016), ou manguezais ocidentais, sendo as seguintes publicações: Fromard *et al.* (1998), Medeiros & Sampaio (2008), Beltran *et al.* (2012), Fonseca & Mochel (2016), Tang *et al.* (2016), Kauffman & Bhomia (2017), Kauffman *et al.* (2018b) e Portela *et al.* (2020).

### **Áreas de bosque de mangue estudadas**

De acordo com o Atlas dos Manguezais do Brasil (ICMBio 2018: 108-109), a APA Delta do Parnaíba recobre uma área total de 307,595.36 ha, na qual 28,878 ha (9.39%) consta de manguezal (Fig. 01). Isso consta de 5.8% da área total dos manguezais brasileiros, estando o Delta como a quinta mais importante área protegida de manguezal no Brasil.

Figura 1 – Mapa de localização das quatro áreas estudadas dos municípios de Araióses e Água Doce, Estado do Maranhão, na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas SIRGAS (2000), dados de ICMbio e IBGE (2019): 1. América do Sul com destaque para o Brasil, em branco; 2 – Municípios de Água Doce do Maranhão à esquerda e Araióses, à Direita, em vermelho a delimitação da APA Delta do Parnaíba; em amarelo estão os pontos correspondendo as quatro áreas em seus respectivos municípios; 3 – Áreas em imagem de satélite aproximada correspondente ao Município de Água Doce do Maranhão; A – Área Conservada e B – Área em regeneração (salina desativada); 4 – Áreas em imagem de satélite aproximada correspondente Município de Araióses; C - Área em regeneração (salina desativada – Ilha das Barreiras) e D - Área Conservada (Ilha dos Poldros).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Dos quatro bosques de mangue estudados, Área A e D são bosques maduros e conservados com pouca perturbação antrópica, sendo Área D é consideravelmente maior em termos de estatura e estrutura. A Área A consiste predominantemente de indivíduos de *Rhizophora mangle* L., com apenas 8 (oito) indivíduos de *Avicennia* spp., enquanto Área D consiste quase exclusivamente de *R. mangle* com 3 (três) indivíduos de *Laguncularia racemosa*. Estas duas áreas têm ecologia distintas, condicionada pelas suas posições geográficas diferenciadas com relação ao tabuleiro terciário continental, regime do fluxo de marés, propriedades químicas, físicas do solo e da água dos principais corpos d'água mais próximos. As duas áreas representam dois tipos diversos de manguezal madura com dominância de *Rhizophora*.

As Áreas B e C são bosques em vias de regeneração. Área B, em regeneração por um período de aproximadamente 50 anos, apresenta características florísticas parecidas às da Área A, mas estruturalmente difere na estatura que é menor, maior representação de *Avicennia* spp. e relativamente menor representação de *R. mangle*. Pode ser considerado um tipo de manguezal que com maturidade, tenderá a se aproximar a Área A, da qual se encontra geograficamente bem próximo.

Área C, geograficamente próxima à Área D, tem estrutura e florística bem distinta. Seus solos são intermediários em propriedades químicas e físicas entre os de Área D por um lado e de Áreas A e B por outro. Área C está em via de regeneração por apenas aproximadamente 25 anos, e é notável pela alta representação de *L. racemosa*, e relativamente baixa representação de *R. mangle*, além de apresentar densidade de árvores muito maior, e uma altura média menor, do que nas outras três áreas.

#### **Equações alométricas usadas para cálculo de valores de biomassa e carbono estocados**

Para cálculo da biomassa de cada indivíduo, as seguintes equações alométricas de Fromard *et al.* (1998), na forma apresentada por Kauffman & Donato (2012), foram utilizadas:

$$\begin{aligned} \textit{Avicennia spp.}: & \quad \text{biomassa} = 0.14 \times \text{DAP}^{2.4} \\ \textit{Laguncularia racemosa}: & \quad \text{biomassa} = 0.1023 \times \text{DAP}^{2.5} \\ \textit{Rhizophora mangle}: & \quad \text{biomassa} = 0.1282 \times \text{DAP}^{2.6}, \end{aligned}$$

onde as unidades são: biomassa em kg/ha, DAP (diâmetro ao nível do peito) em cm.

Para *Rhizophora mangle*, uma das equações de Santos *et al.* (2017, Table 5 deles) foi também usada, isto é, aquela correspondendo à biomassa total utilizando somente DAP como variável:

$$\textit{Rhizophora mangle}: \quad \text{Ln (biomassa)} = 5.534244 + 2.404770 \times \text{Ln (DAP)};$$

quando transformado em anti-logaritmo (usando função "exp" em R), o resultado desta equação se expressa em gramas, e para ser expresso em kg foi dividido por 1000.

A equação de Santos *et al.* (2017) produziu resultados comparáveis com os da equação de Fromard *et al.*, e por consistência, os resultados deste último são reportados aqui.

#### **Cálculo de limites de confiança médios e medianos de densidade e de biomassa, utilizando a metodologia de "bootstrap".**

Neste estudo, quatro bosques de mangue foram amostrados de forma sistemática em grades, cada consistindo em 30 parcelas de 100 m<sup>2</sup>. Para estimar médios, medianos e limites de confiança dos parâmetros densidade absoluta (DA), biomassa, densidade de biomassa e densidade de carbono estocado, foi empregada a abordagem de reamostragem "bootstrap" (MANLY, 2007).

Para cada uma das quatro áreas, as 30 parcelas foram reamostradas com substituição, usando os dados observados no estudo fitossociológico (manuscrito 2), e utilizando a função "sample\_n" do pacote "dplyr" em R (R CORE TEAM, 2021), com o argumento "replace=TRUE". Desta reamostragem de 30 valores, a soma do número de indivíduos por parcela foi calculada e guardada. A reamostragem foi repetida 10.000 vezes, gerando uma distribuição de 10.000 valores reamostrados ("bootstrapped samples") para a densidade absoluta na área. O mesmo procedimento foi realizado novamente, no entanto, com o cálculo da soma dos valores de biomassa por parcela, dando uma distribuição de 10.000 valores reamostrados para a biomassa da área. Desta forma, foi possível computar os limites de confiança para estes dois parâmetros (densidade absoluta, biomassa), baseados nos valores correspondendo aos quartis 2.5% e 97.5%, obtidos com a função "quantile", da distribuição de 10.000 valores reamostrados, e os valores mínimos, máximos, médio e mediano, foram calculados com as funções "min", "max", "mean" e "median". A densidade de carbono (Mg/ha) foi calculada como a metade da densidade da biomassa (PORTELA *et al.*, 2020).

Desta maneira, foi obtida uma perspectiva da variação geral inerente nos dados observados para cada das áreas estudadas, assim contornando a limitação imposto em cálculos paramétricos de médias pela falta de normalidade na distribuição dos dados observados, e pela área das parcelas, que sendo de 100 m<sup>2</sup>, incluíram somente um número relativamente pequeno de indivíduos em Áreas A, B e D, onde as árvores foram maiores do que as da Área C.

## RESULTADOS

A densidade da biomassa (viva, acima do solo) observada nas áreas conservadas foi 114,6 Mg/ha na Área A e 317,1 Mg/ha na Área D (Tabela 1). Nas duas áreas em regeneração, os valores foram 78,8 Mg/ha na Área B, e 40,0 Mg/ha na Área C. Os valores de carbono, estimados como a metade do valor da biomassa, são apresentados na Fig. 02.

Este resultado mostra que a quantidade de biomassa, e consequentemente de carbono, retida na Área D é maior (com 57,2% do total) do que a soma das outras áreas. Também pode

se notar que a diferença entre as duas áreas conservadas é muito maior do que a diferença entre a Área conservada A, e as duas áreas em regeneração.

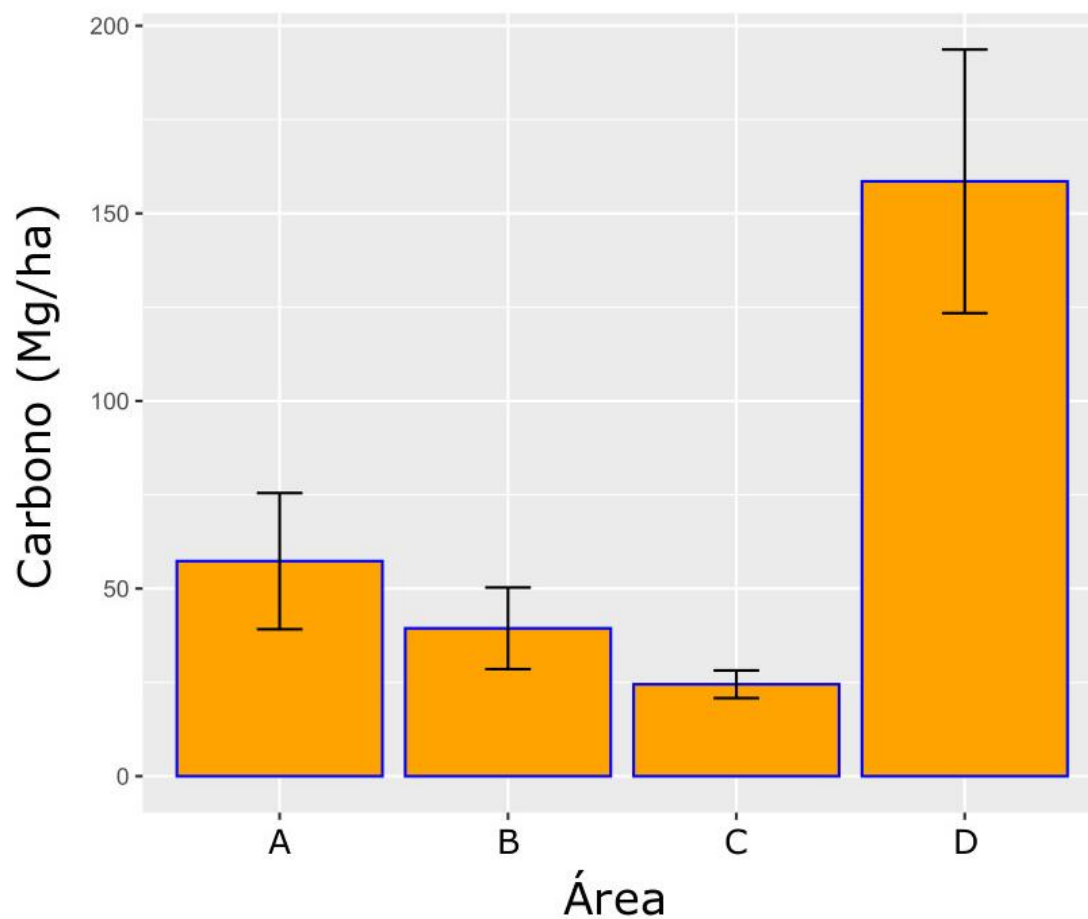
A distribuição da biomassa por espécie dentro de cada área (Fig. 03) reforça essa impressão da importância das áreas dominadas por *Rhizophora mangle* com grande altura (> 20 m), mas também indica que a contribuição de áreas em regeneração relativamente recente como Área C (ca. 25 anos) tem pouco peso no conjunto. Área B, com 50 anos de regeneração, tem quase o dobro em total, mas ao comparar com Área A, que é conservada, se nota que é a contribuição de *Rhizophora* que aumenta e a de *Avicennia* que diminui, no curso de maturação do manguezal, pelo menos nesta parte do Delta. *Rhizophora* tem papel importante em todas as áreas, exceto na C.

Tabela 01 - Dados obtidos a partir do presente estudo (veja manuscrito 2 para maiores detalhes das áreas de dos parâmetros observados) de quatro áreas localizadas no Delta do Parnaíba, setor maranhense. Estimativas de biomassa obtidas através de equações alométricas (veja texto). Densidade de carbono estocado calculada como 0.5 vezes a densidade de biomassa.

	Total (1.2 ha)	Área A (0.3 ha)	Área B (0.28 ha)	Área C (0.3 ha)	Área D (0.3 ha)
No indivíduos observados	2636	145	166	2164	161
No indivíduos médio bootstrap	2628.59	144.86	165.90	2160.59	161.11
No indivíduos mediano bootstrap	2614	144	165	2153	161
95% intervalo de confiança (bootstrap) 2.5% - 97.5%	1921.00 - 3421.00	122 - 171	136 - 199	1748 - 2616	138 - 185
No indivíduos: bootstrap min-max	1427 - 4315	99 - 206	116 - 246	1448 - 3044	112 - 217
DA observada	2233.90	483.33	592.86	7213.33	536.67
DA (indivíduos/ha) médio bootstrap	2227.62	482.86	592.49	7201.97	537.02
DA (indivíduos/ha) mediano bootstrap	2215.25	480.00	589.29	7176.67	536.67
95% intervalo de confiança (bootstrap) 2.5% - 97.5%	1627.97 - 2899.15	406.67 - 570.00	485.71 - 710.71	5826.67 - 8720.00	460.00 - 616.67
DA: (indivíduos/ha) bootstrap min-max	1209.32 - 3656.78	330.00 - 686.67	414.29 - 878.57	4826.67 - 10146.67	373.33 - 723.33
Biomassa observada (Mg)	166.28	34.39	22.07	14.70	95.12
Biomassa média bootstrap (Mg)	166.32	34.36	22.02	14.72	95.08
Biomassa mediana bootstrap (Mg)	165.70	33.91	21.92	14.71	94.43
95% intervalo de confiança (bootstrap) Mg 2.5% - 97.5%	135.07 - 202.01	24.84 - 46.63	16.28 - 28.46	12.54 - 16.95	75.66 - 117.82
Biomassa bootstrap min-max Mg	112.76 - 242.36	18.27 - 59.54	11.85 - 37.00	10.98 - 19.37	61.20 - 148.86
Densidade de biomassa (Mg/ha) observada	140.92	114.63	78.82	49.00	317.07
Densidade de biomassa média (Mg/ha) bootstrap	140.95	114.53	78.63	49.07	316.92
Densidade de biomassa mediana (Mg/ha) bootstrap	140.42	113.03	78.29	49.03	314.76
95% intervalo de confiança (Mg/ha) bootstrap 2.5% - 97.5%	114.47 - 171.19	82.79 - 155.43	58.16 - 101.66	41.80 - 56.51	252.21 - 392.73
Densidade de biomassa bootstrap min-max (Mg/ha)	95.56 - 205.39	60.91 - 198.47	42.33 - 132.15	36.60 - 64.56	204.01 - 496.21
Densidade de carbono estocado (Mg/ha) observado	70.46	57.32	39.41	24.50	158.53
Densidade de carbono estocado médio (Mg/ha) bootstrap	70.47	57.26	39.32	24.54	158.46
Densidade de carbono estocado mediano (Mg/ha) bootstrap	70.21	56.51	39.14	24.51	157.38
95% intervalo de confiança (Mg/ha) bootstrap Mg 2.5% - 97.5%	57.23 - 85.60	41.40 - 77.72	29.08 - 50.83	20.90 - 28.26	126.11 - 196.37
Densidade de carbono estocado bootstrap min-max (Mg/ha)	47.78 - 102.69	30.46 - 99.24	21.16 - 66.07	18.30 - 32.28	102.01 - 248.11

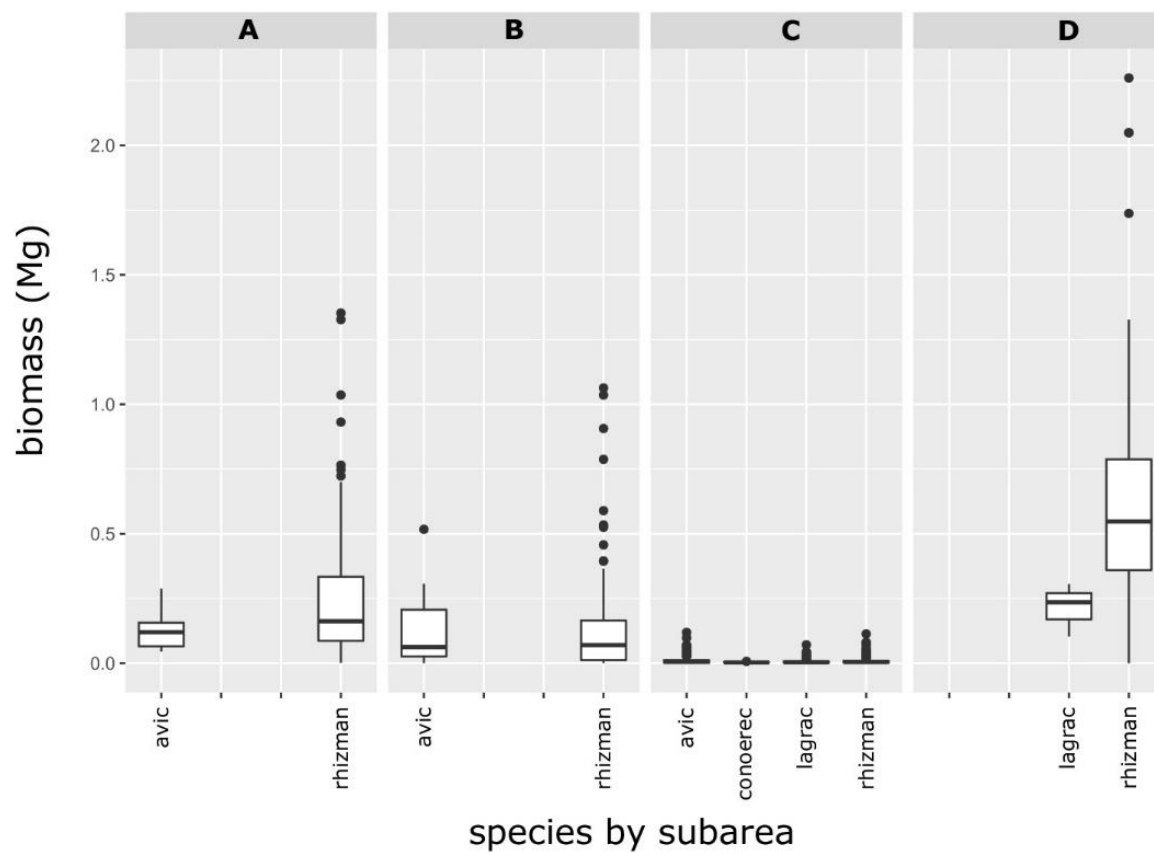
Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 02 - Densidade de carbono estocado em cada Área estudada, em Mg/ha. As barras de erro indicam os 95% limites de confiança computados por análise "bootstrap" dos dados observados de cada área (10.000 replicações).



Fonte: Dados da pesquisa (2021)

Figura 03 - Biomassa (Mg) dos indivíduos das espécies em cada área (0.3 ha: A, C, D; 0.28 ha: B). O retângulo central representa os 50% de valores centrais, e a linha horizontal representa o valor mediano; pontos pretos isolados representam valores extremos ("outliers"). avic = *Avicennia* spp. conoerec = *Conocarpus erectus*. lagrac = *Laguncularia racemosa*. rhizman = *Rhizophora mangle*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021)



Quando comparado com outros estudos (Tabela 02), fica evidente que a densidade de biomassa acima do solo em Área D (317 Mg/ha) é de um nível que se compara melhor com os valores reportados para Gabão (KAUFFMAN e BHOMIA, 2017) e Amazonia brasileira (KAUFFMAN *et al.*, 2018b), ou seja, regiões equatoriais sem estação seca bem marcada. Uma das localidades estudadas por Fromard *et al.* (1998) na Guiana Francesa também atingiu uma densidade de biomassa de 315 Mg/ha. A quantidade de biomassa registrada em Maranhão (FONSECA e MOCHEL, 2016) e em Pernambuco (MEDEIROS e SAMPAIO, 2008) se assemelha melhor ao registrado no presente estudo na Área A.

Tabela 02 - Dados sobre biomassa e carbono estocado, obtidos de estudos selecionados de bosques de mangue pertencente ndo aos Manguezais ocidentais ("*Western Mangroves*", TOMLINSON, 2016).

Fonte	Região	Biomassa (Mg/ha)	Carbono (Mg C/ha)	Comentários
Fromard et al. 1998	Guiana Francesa	Manguezais maduros: litorais: stand IV: 180 ± 4.4 stand V: 315 ± 39  fluviais: stand VI: 189 ± 80 stand VII: 122	stand IV: 90 Mg C/ha stand V: 158 Mg C/ha  stand VI: 95 Mg C/ha stand VII: 61 Mg C/ha	Espécie dominante: <i>Avicennia germinans</i> ; ou codominantes <i>A. germinans</i> + <i>Rhizophora mangle</i> Biomassa: acima do solo inclusive árvores mortas em pé.
Fonseca & Mochel 2016	São Luís, Maranhão, Brazil	151.47	? 75.7 Mg/ha	Espécie dominante: <i>Avicennia germinans</i> , subdominantes <i>Laguncularia racemosa</i> , <i>R. mangle</i> Biomassa: viva acima do solo.
Medeiros & Sampaio (2008)	Pernambuco, Brazil	105	52.5	Espécie dominante: <i>R. mangle</i> , subdominante <i>L. racemosa</i> Biomassa: viva acima do solo.
Beltran et al. 2012	São Vicente, São Paulo, Brazil	-	39.6 Mg/ha	<i>R. mangle</i> mais abundante, mas <i>Avicennia schaueriana</i> e <i>Laguncularia</i> de maior estatura. Carbono: vivo acima do solo.
Kauffman & Bhomia 2017	West and West-Central Africa	Gabão norte: 375  Gabão sul: 283	Gabão norte: 180 ± 40 Mg/ha  Gabão sul: 136 ± 36	<i>Rhizophora racemosa</i> mais dominante do que <i>R. mangle</i> . Biomassa total acima do solo (viva, árvores mortas, troncos e ramos caído no solo). Carbono calculado como 0.48 da biomassa acima do solo
Kauffman <i>et al.</i> 2018b	Amazônia brasileira	302	145	Biomassa total acima do solo (viva, árvores mortas, troncos e ramos caído no solo). Carbono calculado como 0.48 da biomassa acima do solo
Portela et al. 2020	Delta do Parnaíba, Piauí, Brazil	517.43	258.34	Biomassa total acima do solo (viva, árvores mortas, troncos e ramos caído no solo) e subterrâneo.

Fonte: Dados da pesquisa (2021)

## DISCUSSÃO

Os valores para a biomassa e carbono acima do solo reportados no presente estudo representam uma estimativa, devido ao fato que árvores mortas e troncos e galhos caídos no chão não terem sido incluídos. Além disso, estudos recentes de estoques totais de carbono de ecossistemas (TECS) em manguezais (p.e. KAUFFMAN; BHOMIA, 2017; KAUFFMAN *et al.*, 2018b) mostraram que a quantidade de carbono acima do solo (viva e morta) não consta de um indicador confiável do total estocado no ecossistema, porque a quantidade armazenada no solo é muito maior do que a estocada na vegetação. Kauffman *et al.* (2018b), por exemplo, afirmaram que em manguezais do Estado do Ceará, onde o clima é bem mais árido, a quantidade de carbono no solo é parecida à dos solos de manguezais do Pará, apesar dos valores para o carbono estocado acima do solo serem duas vezes maior neste último.

Somente o trabalho de Portela *et al.* (2020) tem feito estimativas do carbono total do ecossistema (TECS), e fica evidente que a avaliação deste parâmetro para os manguezais do Delta como um todo necessita uma ampliação desta abordagem.

As quatro áreas estudadas evidentemente não incluem todos os tipos de manguezal que possam contribuir significativamente ao total do carbono estocado no Delta. A área antropizada estudado por Meireles (2016) se destaca como um tipo de bosque que é alto mas com predominância de *Avicennia*. Outros tipos de bosques representados por duas das áreas de Deus (2000) – "salina" e "corte raso" – tem provavelmente menor importância quando a biomassa, sendo de estatura mais baixa, mas isto poderia ser também contrariado se no futuro foi estabelecido que a extensão destes tipos de bosque é considerável.

## CONCLUSÕES

O estoque de carbono nos bosques mais altos do Delta do Parnaíba é comparável com os dos manguezais mais imponentes da zona equatorial tanto da Amazônia brasileira, como da África centro-oeste (Gabão).

Os estoques dos bosques mais altos (> 20m) são muito maiores do que nos outros tipos de bosque de estatura menor, e, portanto, a conservação de carbono deveria se focar na manutenção dos bosques de estatura maior.

Nos dados obtidos, parece que a espécie de maior importância para estocamento de carbono no Delta é *Rhizophora mangle*. Porém, existem outros tipos de bosque de grande porte no Delta, não estudados no presente trabalho, em que *Avicennia spp.* tem predominância.

Estudos mais amplos e mais detalhados são necessitados para obter estimativas mais adequadas do estoque de carbono total do ecossistema dos manguezais do Delta. Para isso, estudos da biomassa morta, subterrânea e do solo precisam ser juntados aos estudos da biomassa vegetal viva acima do solo.

O Delta do Parnaíba se destaca como um sistema ideal para o prosseguimento destes estudos, visto que se trata de uma das poucas regiões deltaicas das Américas que ainda ficaram preservadas as funções naturais dos ecossistemas. Uma mobilização maior da comunidade científica neste sentido seria muito desejável.

## REFERÊNCIAS

ALONGI, D. M. Carbon cycling and storage in mangrove forests. **Annual Review of Marine Science**, v. 6, n. 1, p. 195-219, jan. 2014.

CABRAL, L. J. R. S., VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO JÚNIOR, C. R.; LIMA, A. M.; FROTA, J. C. O.; AMORIM, J. V. A. **Levantamento pedológico da planície do Delta do Parnaíba, PI**. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Centro de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2018.

FERNANDES, A. G.; LOPES, A. S.; SILVA, E. V.; CONCEIÇÃO, G. M.; ARAÚJO, M. F. V. **Componentes biológicos: Vegetação**. Em: CEPRO, **Macrozoneamento Costeiro do Estado do Piauí: relatório geo-ambiental e sócio-econômico**. Fundação CEPRO, Teresina, pp 43-72. 1996.

FONSECA, I. L. A.; MOCHEL, F. R. Fitomassa aérea de um manguezal no estuário do Rio dos Cachorros, São Luís, Maranhão, Brasil. **Boletim Laboratório de Hidrobiologia**, Maranhão, v. 26, p. 17-25, jan. 2016.

FROMARD, F.; PUIG, H.; MOUGIN, E.; MARTY, G.; BETOULLE, J. L.; CADAMURO, L. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. **Oecologia**, v. 115, p. 39-53, jun. 1998.

ICMBio. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Ministério de Meio Ambiente, Brasília, DF. 176 p. 2018.

ICMBio. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Ministério de Meio Ambiente, Brasília, DF. 2020.

ICMBio. **APA Delta do Parnaíba**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Ministério de Meio Ambiente. 2021. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2246-apa-delta-do-parnaiba>. Acesso em: 22 mai. 2021.

- KAUFFMAN, J. B.; DONATO, D. C. **Protocols for the measurement, monitoring, and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests**. CIFOR Working Paper 86. Center for International Forest Research, Indonesia, 40 p. 2012.
- KAUFFMAN, J. B.; BHOMIA, R. K. Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa: global and regional comparisons. **PLoS One**, Califórnia, v. 12, n. 11, p. 1-17, nov. 2017.
- KAUFFMAN, J. B.; BERNARDINO, A. F.; FERREIRA, T. O.; BOLTON, N. W.; GOMES, L. E. O.; NOBREGA, G. N. Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. **Ecology and Evolution**, v. 8, p. 5530-5540, mai. 2018a.
- KAUFFMAN, J. B.; BERNARDINO, A. F.; FERREIRA, T. O.; GIOVANNONI, L. R.; GOMES, L. E. O.; ROMERO, D. J.; JIMENEZ, L. C. Z.; RUIZ, F. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region. **Biology Letters**, v. 14, n. 20180208, p. 1-4, set. 2018b.
- KOMIYAMA, A.; ONG, J. E.; POUNGPARN, S. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. **Aquatic Botany**, v. 89, p. 128-137, 2008.
- MANLY, B. F. J. **Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology**. Third edition. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton. 455 p. 2007.
- MEDEIROS, T. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaracá, Pernambuco, Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v. 16, p. 323-330, nov. 2008.
- PAULA FILHO, F. J.; MARINS, R. V.; LACERDA, L. D. Natural and anthropogenic emissions of N and P to the Parnaíba River Delta in NE Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 166, p. 34-44, dez. 2015.
- PAVANI, B. F.; SOUSA JÚNIOR, W. C.; INOUE, C. E.N.; VIEIRA, S. A.; MELLO, A. Y. I. Estimating and valuing the carbon release in scenarios of land-use and climate changes in a Brazilian coastal area. **Journal of Environmental Management**, v. 226, p. 416-427, nov. 2018.
- PINTO, L. M.; VICENTE, A. F. C.; VILLAÇA, I. M.; BARAÇAL, R. A. F.; GOMES, R. L.; MAGENTA, M. A. G.; GIORDANO, F. Sequestro de carbono atmosférico no bosque do manguezal da APA da Serra do Guararú, Guarujá-SP. **UNISANTA Bioscience**, v. 5, n. 5, p. 51-57, 2016.
- PORTELA, M. G. T.; ESPINDOLA, G. M.; VALLADARES, G. S.; AMORIM, J. V. A.; FROTA, J. C. O. Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v. 28, p. 607-622, jun. 2020.
- R CORE TEAM (2021) **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 21 mai. 2021.
- SANTOS, H. V. S.; HOLLANDA, F. S. R.; SANTOS, T. O.; ANDRADE, K. V. S.; SANTANA, M. B. S.; ESTRADA, G. C. D.; SOARES, M. L. G. Allometric models for

estimating the aboveground biomass of the mangrove *Rhizophora mangle*. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, n. 1, p. 44-53, jan-mar. 2017.

SILVA, A. G. A.; STATTEGGER, K.; VITAL, H.; SCHWARZER, K. Coastline change and offshore suspended sediment dynamics in a naturally developing delta (Parnaíba Delta, NE Brazil). **Marine Geology**, v. 410, p. 1-15, jan-mar. 2019.

SIMARD, M.; FATOYINBO, L.; SMETANKA, C.; RIVERA-MONROY, V. H.; CASTAÑEDA-MOYA, E., THOMAS, N.; VAN DER STOCKEN. Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. **Nature Geoscience**, v. 12, n 1, p. 40-45, dez. 2019.

TANG, W.; FENG, W.; JIA, M.; SHI, J.; ZUO, H.; TRETTIN, C. C. The assessment of mangrove biomass and carbon in West Africa: a spatially explicit analytical framework. **Wetlands Ecology and Management**, Jawa Barat, v. 24, p. 153-171, dez. 2016.

TOMLINSON, P.B. **The Botany of Mangroves**. Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge UK, 418 p. 2016.

**MANUSCRITO 6 - Climatologia para o Município de Parnaíba, Piauí/Brasil.**

## Climatologia para o Município de Parnaíba, Piauí/Brasil

Maria G. P. Nascimento<sup>\*</sup>, Graziela de A. Lima<sup>\*\*</sup>, Ivanilza M. de Andrade<sup>\*\*\*</sup>, Josiclêda D. Galvínio<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI), Teresina/PI, Brasil. E-mail: [graceliapaiva@gmail.com](mailto:graceliapaiva@gmail.com) (autor correspondente)

<sup>\*\*</sup>Pós-Graduação em Gestão e Educação Ambiental, Universidade Estadual do Piauí, Campo Maior/PI, Brasil. E-mail: [grazilima17@hotmail.com](mailto:grazilima17@hotmail.com)

<sup>\*\*\*</sup>Docente do PRODEMA/UFPI, Teresina/PI, Brasil. E-mail: [ivanilzaandrade@hotmail.com](mailto:ivanilzaandrade@hotmail.com)

<sup>\*\*\*\*</sup>Docente do PRODEMA/UFPE, Universidade Federal do Pernambuco, Recife/PE, Brasil. E-mail: [josicleda@gmail.com](mailto:josicleda@gmail.com)

### RESUMO

O aumento da temperatura média do planeta poderá acarretar mudanças nos regimes das chuvas, alterar a capacidade hídrica de uma região, agravar problemas de saúde na população e causar prejuízos econômicos. Analisar locais que estão sofrendo tendência meteorológica possibilita estimar possíveis detrimientos destas alterações nas atividades socioeconômicas. Assim, investigou-se as tendências temporais em séries históricas para precipitação e temperatura média entre os anos de 1962 a 2017, para o município de Parnaíba, Piauí. Foram compilados dados de postos pluviométricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA), obtendo-se máximas anuais de precipitações e temperaturas médias, para classificação dos eventos extremos ligados a precipitação aplicou-se a técnica Quantis. As médias ao longo dos anos de 1964, 1974 e 1985 foram as mais chuvosas das séries, referentes a três picos de inundação (alta precipitação). Os anos de 1988 e 1991, foram categorizados como “muito chuvoso”. Por outro lado, 1998-2017 foram os anos mais secos, apresentando os maiores números de estiagens, período esse que ocorreu o aumento de focos de queimadas no Piauí. Pode-se ultimar que as secas estão mais longas, tendo como consequência a redução hídrica, e assim que as tendências climatológicas para o município existem, sugere-se que podemos considerá-las com impactos das mudanças climáticas globais.

**Palavras-Chave:** climatologia, mudanças climáticas, precipitação.

### ABSTRACT

The increase in the average temperature of the planet can cause changes in rainfall regimes, deregulate the water capacity of a region, aggravate health problems in the population and cause economic losses. Analyzing sites that are undergoing a meteorological trend makes it possible to estimate the possible detrimientos of these changes in socioeconomic activities. Thus, we investigated temporal trends in historical series for precipitation and average

temperature between 1962 and 2017 in the city of Parnaíba, Piauí. Rainfall data were compiled from the National Institute of Meteorology (INMET) and the National Water Agency (ANA), obtaining maximum annual rainfall and average temperatures, for the classification of extreme events linked to precipitation was applied the Quantis technique. The averages over the years 1964, 1974 and 1985 were the rainiest of the series, referring to three peaks of flood (high precipitation). The years 1988 and 1991 were categorized as "very rainy". On the other hand, 1998-2017 were the driest years, presenting the highest numbers of drought, during which period the increase of fires occurred in Piauí. It can be concluded that droughts are longer, resulting in water reduction, and as soon as the climatological trends for the city exist, it is suggested that we can consider them as impacts of global climate change.

**Keywords:** Climatology, climate change, precipitation.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o meio científico e acadêmico vêm discutindo sobre as alterações climáticas (BLAIN, 2010; DIEHL *et al.*, 2010; INSAF *et al.*, 2012; RUSZ, 2012; IPCC, 2014; ANDRADE *et al.*, 2014; NUNES, 2016; WANDERLEY *et al.*, 2018). Isso se deve ao cenário de mudanças climatológicas, que apresentam aumento acima de 2°C na temperatura média global do planeta, o que inclui grandes desequilíbrios em ecossistemas, como alterações significativas da Floresta Amazônica afetando toda a biodiversidade, perdas significativas de geleiras nas cordilheiras os Andes e do Himalaia, como apresentado no Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC (2014).

Além disso, em áreas de ecossistemas frágeis e vulneráveis, como o semiárido, mudanças climáticas mais drásticas podem ocorrer, como fluxo de Marés altas ou mesmo de tempestades que podem dificultar a drenagem das águas para o mar e causar o prolongamento de cheias ou inundações repletas de água poluída, agravando assim, problemas de saúde da população local (PRIORI JUNIOR, 2014).

Tais alterações estão sendo provocadas pelo aumento das concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera, que são intensificados pelas atividades humanas (GHINI *et al.*, 2008), causado pela soma das ações produzidas pelas concentrações de gases de efeito estufa (GEEs) (SANTOS, 2006). A concentração de GEEs na atmosfera tem aumentado acentuadamente desde a revolução industrial, o que levou a energização do efeito estufa e vem intensificando o aquecimento global (IPCC, 2014).

Os impactos ligados às tais mudanças estão sendo sentidos ao redor do mundo, possivelmente terão efeitos profundos, e também danos para a população humana (NOBRE *et al.*, 2011), com enormes prejuízos econômicos prejudicando a agricultura com perdas parciais



ou totais, podendo comprometer o abastecimento de água para a população devido à irregularidade de precipitações, com predominância de chuvas intensas e de curta duração (SILVA *et al.*, 2008), assim como causar forte impacto social aos habitantes de uma determinada região.

A velocidade e a magnitude das mudanças poderiam condenar à extinção muitas espécies, acarretando alterações ambientais que podem levar ao agravamento dos desastres. As mudanças climáticas aumentam o impacto provocado por processos socioeconômicos e culturais, como o crescimento populacional, a urbanização, a industrialização, o aumento do consumo de recursos naturais, e da demanda sobre os ciclos biogeoquímicos (OPAS, 2014)

Visto a problemática apresentada, as análises espaciais de tendências permitem a observação das variações no comportamento das alterações climáticas e esclarecimento de informações de uma determinada variável em uma região que vem sofrendo transformações significativas ao longo do tempo. Isso ocorre porque estudar as alterações climáticas ocorridas no passado possibilita uma melhor compreensão das variabilidades inferidas no presente, além de subsidiar elementos para averiguação do comportamento do clima futuro (PENNEREIRO e ORLANDO, 2013).

Alguns estudos com o objetivo de mostrar possíveis tendências temporais aplicaram satisfatoriamente o método de Mann-Kendall em variáveis ambientais, entre eles: nível de água (ZHANG *et al.*, 2009), temperatura média (VINCENT *et al.*, 2005; KARMESHU, 2012; MEDEIROS *et al.*, 2018), precipitação (GROPPO *et al.*, 2008; AMAZON *et al.*, 2012; KARMESHU, 2012; WANDERLEY *et al.*, 2018). Já Farias *et al.* (2012) e Duarte *et al.* (2015) classificaram eventos extremos de precipitação no Estado de Pernambuco, Brasil, a partir da técnica dos Quantis no intuito de relacioná-los aos desastres decorrentes.

A identificação nos locais que estão sofrendo tendência meteorológica possibilita estimar os possíveis detrimientos destas alterações nas atividades socioeconômicas, auxiliando os tomadores de decisão a respeito dos riscos possíveis. Diante do exposto, o trabalho analisou a climatologia relacionando com as tendências temporais significativas em séries históricas entre os anos de 1962 e 2017, para precipitação e temperatura média numa região litorânea do Piauí, Brasil.

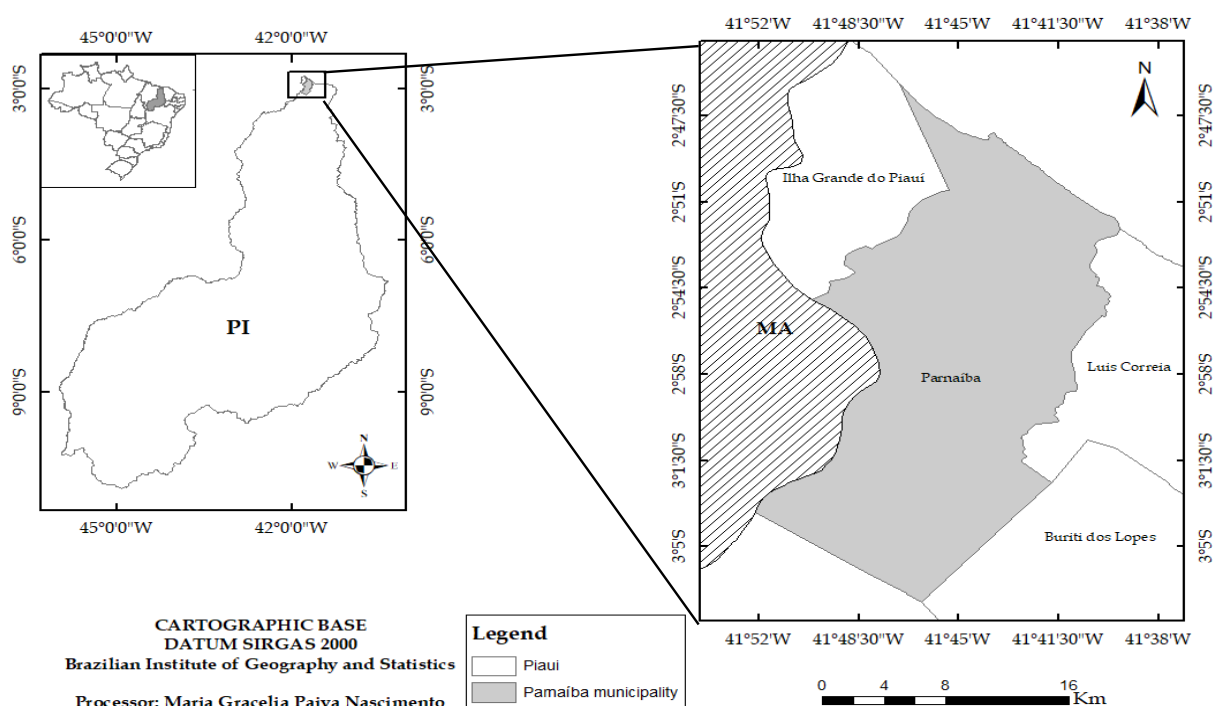
## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O município de Parnaíba (02° 58' 12.1''S e 41° 47' 38.2''W) (Figura 1) compreende uma área irregular de 431 km<sup>2</sup> e encontra-se inserido na microrregião litoral piauiense, mesorregião Baixo Parnaíba, limitando-se ao norte: município de Ilha Grande e o oceano Atlântico; ao sul: Buriti dos Lopes e Bom Princípio; a leste: Luís Correia e a oeste: Estado do Maranhão (AGUIAR, 2004).

Geograficamente, Parnaíba apresenta formações com depósitos de areias do Quaternário e Formação Barreiras (SANTOS-FILHO, 2010). O clima de acordo com a classificação de Köpper é Megatérmico; com verão chuvoso e inverno quente; temperatura anual média de 27,5°C (SANTOS-FILHO, 2010; SANTOS-FILHO *et al.*, 2013). Os níveis anuais de precipitação situam-se entre 1.000 e 1.600 mm.ano<sup>-1</sup> (LIMA *et al.*, 2017). A vegetação é formada por florestas de Tabuleiros (planície costeira florestas em depósitos terciários), restingas em região de solo Neossolo Quartzarênico (SANTOS-FILHO *et al.*, 2013), além de ser formada por espécies herbáceas que recobrem as dunas (pleistocênicas); arbustos (fruticeto) próximos ao mangue; campos herbáceos abertos e fechados inundáveis a não inundáveis (SANTOS-FILHO, 2010).

Figura 1 - Localização do município de Parnaíba, Piauí, Brasil.



### Coleta e análise dos dados

Foram selecionados dados históricos de precipitação pluviométrica e temperatura de quatro Estações meteorológicas (82287; 241001; 241002; 341000), distribuídos pelo município de Parnaíba - Piauí, referentes ao período de 1962 a 2017. Esses dados foram obtidos nos postos pluviométricos, no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA).

Os dados pluviométricos utilizados contemplam 55 anos, de acordo com *World Meteorological Organization* – WMO, o clima de uma região pode ser caracterizado por um período mínimo de 30 anos, pois quanto maior o período, maior será a credibilidade da distinção climática da região. Estas apresentam séries históricas longas suficientes para serem classificadas quanto à variabilidade climática, e são distribuídas uniformemente para o município de estudo (WMO, 2019).

Para o desenho meteorológico utilizou-se a variável “precipitação pluviométrica”, onde parâmetros foram utilizados como: os índices mensais calculados em um mês, levou em consideração não existirem mais de três dias faltosos; os valores anuais foram calculados se em um ano que não houvesse mais de 15 dias faltando; não utilizou-se dados com valor anual quando algum mês estivesse faltando; para os indicantes de temporada pode-se continuar no ano seguinte e esta foi contada no ano em que a temporada/série termina.

Os dados foram organizados em planilhas e tabulados no programa *Microsoft Office Excel* 2016, posteriormente foram confeccionados gráficos, realizadas análises do comportamento de variabilidade quanto a precipitação, temperatura média e ocorrência de tendência por utilização dos parâmetros plúvio climáticos.

Para categorizar as estações chuvosas aplicou-se a técnica dos Quantis (PINKAYAN, 1966; XAVIER, 2002), sobre o recorte (1988-2017) da série pluviométrica para classificar os eventos extremos diários de precipitação e consideradas probabilidades contínuas relacionadas variáveis chuvas. Em seguida foi realizado o somatório das precipitações dos meses componentes da estação chuvosa de cada ano e estimados os quantis Q15, Q35, Q50, Q65 e Q85. Os quantis foram obtidos a partir de cinco passos distintos, ordenadas a seguir: a) disponibilização dos dados  $y_j$  (precipitação) sendo N o número de observações; b) classificação crescente dos dados:  $y_1 < y_2 < \dots < y_j < \dots < y_N$ ; c) enumeração da ordem j em cada elemento da série; d) determinação da ordem quantílica  $p_j$  (percentil) correspondente a cada elemento da série por mediação da equação:

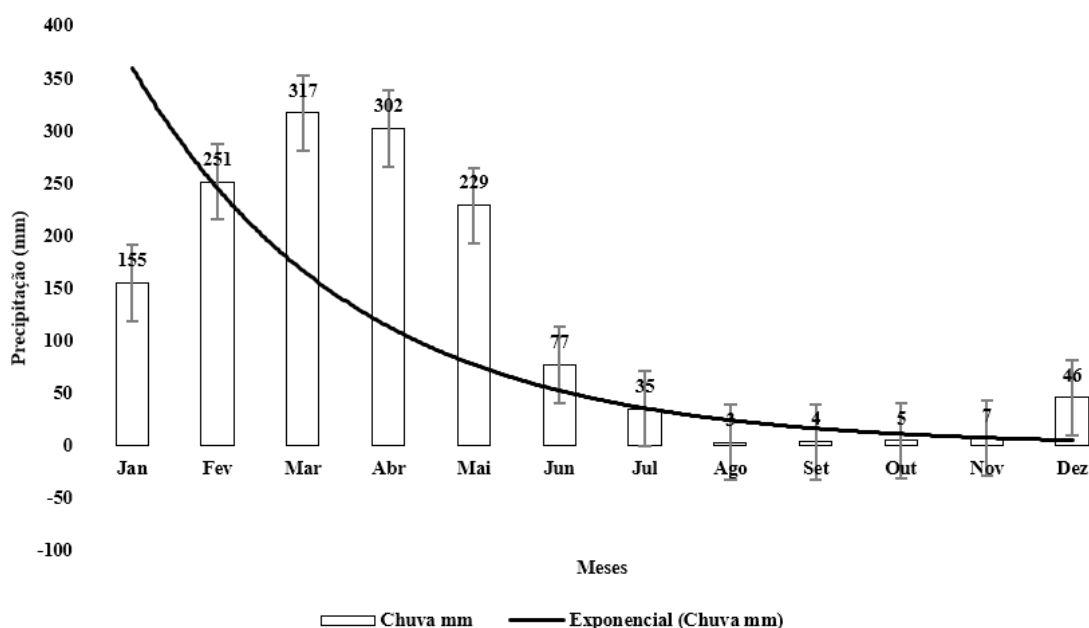
$$p_j = [j/(N+1)] * 100$$

e) calcula-se o quantil  $Q(p)$  para uma “ordem quantílica”  $p$  qualquer, onde tem-se  $p_j = j/(N+1)$  e  $p_{j+1} = (j+1)/(N+1)$ , sendo  $Q(p) = y_j + \{ [p - p_j] / [p_{j+1} - p_j] \} * [y_{j+1} - y_j]$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os períodos chuvosos para o município de Parnaíba concentram-se em cinco meses (janeiro a maio) enquanto o período seco corresponde a sete meses (junho a dezembro) (Figura 1). Essa distribuição de chuva está relacionada a sazonalidade dos sistemas atmosféricos e oceânicos que atuam principalmente por conta das baixas latitudes, por se tratar de um município litorâneo, apresentando um clima quente e úmido (LIMA *et al.*, 2017), onde há estabilidades atmosféricas no período de inverno (seco) e primavera, e verão (chuvoso) e outono no período sazonal, corroborando com dados de Monteiro *et al.* (2012) para o estado do Rio Grande do Norte. Somados a isto, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos principais sistemas responsáveis por precipitação pluviométrica nas baixas latitudes no território brasileiro (DINIZ *et al.*, 2014), comum em regiões localizadas em baixas altitudes, influenciada pela ZCIT, mecanismo dinâmico responsável pelas chuvas do semiárido entre fevereiro e maio e os mínimos de precipitação atmosférica acontecem entre junho a setembro, quando a ZCIT migra para o hemisfério norte e se posiciona climatologicamente entre 4° a 5° N (Marengo *et al.*, 2011).

Figura 2 - Médias de precipitação (mm) ao longo dos meses de janeiro a dezembro, durante o período de 1962-2017 para o município de Parnaíba, Piauí.

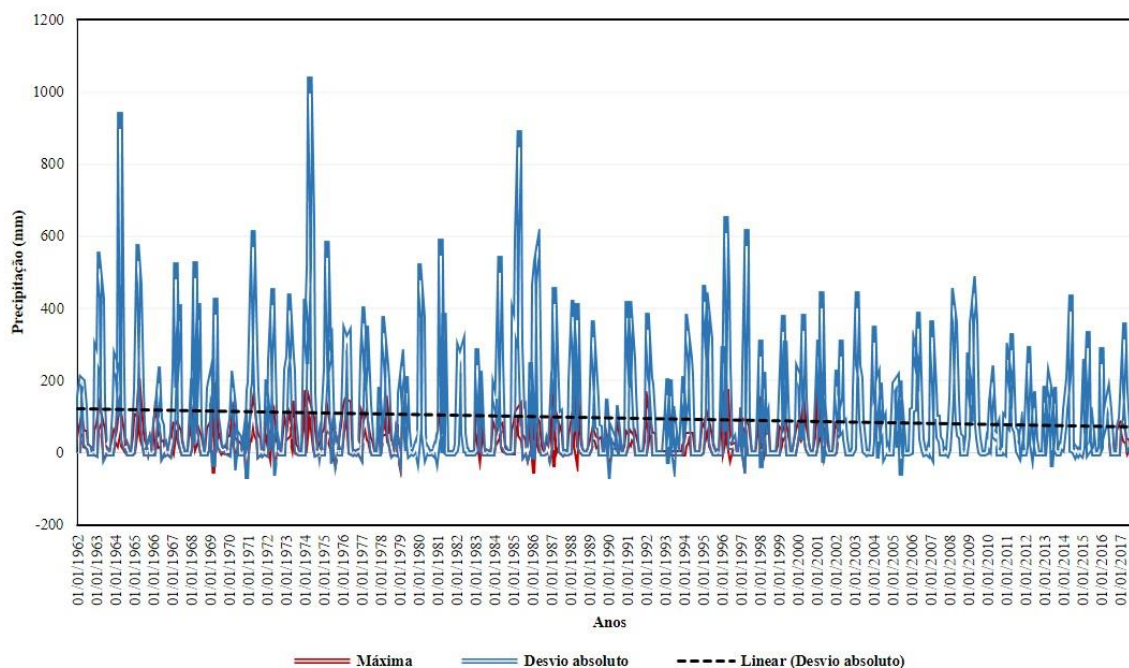


Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Podemos inferir que a queda (exponencial) da precipitação (Gráfico 1) mostra uma série histórica longa, em que os períodos secos e chuvosos se mantêm constantes e bem definidos, o que poderia denotar um decréscimo da precipitação em anos mais recentes, visto a mudanças nas correntes marítimas. Lacerda *et al.* (2015) relatam que cerca de 90% das chuvas da região ocorrem durante os meses de janeiro a maio e no decorrer dos anos essas precipitações vem diminuindo devido a efeitos climáticos, tais como o “El Niño” e “La Niña”. Além disso, tem-se o aumento de temperatura, na média de 34<sup>o</sup> C no período correspondente ao inverno (seco) e primavera (Figura 2). Desta forma, os meses de agosto a novembro são os mais secos para a região, portanto são os que apresentam aumento de temperatura.

Quanto aos volumes diários de precipitação registrados entre 1962 a 2017, verifica-se que os anos de 1964, 1974 e 1985 foram os mais chuvosos da série, referindo-se à inundação (alta precipitação), sendo que a soma desses três valores foi equivalente a mais de 1000 mm.ano<sup>-1</sup> ao longo da série (Figura 3).

Figura 3 - Precipitação registrados, pelo INMET, entre 1962 a 2017 para o município de Parnaíba, PI.

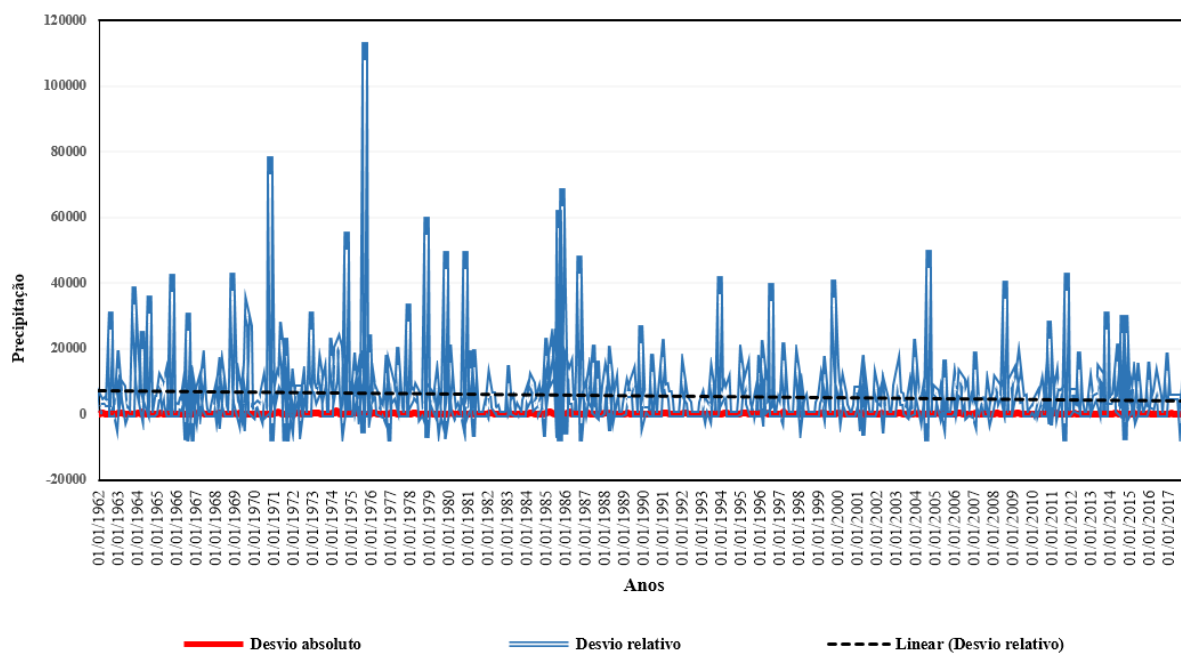


Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Acredita-se que a diferença nos níveis de chuva registrado para Parnaíba nas décadas anteriores a 1985 esteja relacionado com a expansão urbana ocorrente na região na década de 80, impactando diretamente a flora e fauna (PBMC, 2014), minimizando com isto a infiltração, e desta forma contribuindo para o aumento da temperatura e maior evaporação. Nesse sentido, Moura (2016) relata que no Nordeste, existe uma grande interação do clima com a configuração e o uso do espaço, causando uma desorganização na dinâmica climática e contribuindo para a formação de ambientes climáticos diferenciados, gerando em cada cidade ou bairro o seu próprio “microclima”. Além disso, Moura (2016) ainda comenta que a expansão urbana desordenada pode ser considerada também como uma das causas do agravamento desta situação, como o aumento dos desastres naturais (estiagens, erosão, inundações, etc. Eventos como esse também foram registrados por Antunes (2014) em que mostrou que a inundação ocorrida durante o período de 1979 a 1985, com auge em 1981, foi responsável por perdas de lavouras e famílias desempregadas, e por Chaves *et al.* (2017), em que relataram inundações ocorridas na década de 1980 e que em 1985 várias cidades do Piauí a precipitação atingiu  $2.600 \text{ mm.ano}^{-1}$ , acarretando enormes prejuízos, sentidos inclusive na cidade de Parnaíba.

Verificando as somas totais das precipitações ao longo dos anos, observa-se que em meados de 1974 houve acúmulo no montante de precipitação (mm), contrapondo a tendência para a região, em que anos posteriores foram bem mais amenos (Gráfico 3).

Figura 4 - Somas totais das precipitações ao longo dos anos para o município de Parnaíba, PI.



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Período de secas prolongadas no Nordeste após grandes enchentes e algumas evidências de mudanças locais no desempenho da precipitação pluviométrica ao longo do tempo, possibilita inferir que em anos recentes as secas estão sendo mais expressivas, embora tenha sido constatada uma diminuição da tendência em eventos de chuvas atuais na série (Gráfico 4).

Os resultados obtidos se assemelham aos de Monteiro *et al.* (2012), os autores estudaram uma série histórica no período de 1980 a 2009 na região do baixo curso do rio Apodi-Mossoró no ano de 1985 registraram valor anual extremo de chuvas na série histórica (2.242,1mm), e diversos impactos negativos na população na ocasião do período chuvoso (137,4mm) no ano de 1983, em que resultou em seca catastrófica para a região, prejudicando a população da cidade de Mossoró e cidades menores daquela região, principalmente as atividades agropecuárias, além da falta de água para abastecer as atividades produtivas.

Quando se trata dos maiores valores de precipitação referentes aos dias, tem-se 01 abril de 1974 (977,5 mm.ano<sup>-1</sup>), 01 abril de 1964 (879,7 mm.ano<sup>-1</sup>) e 01 abril de 1985 (826,6 mm.ano<sup>-1</sup>) com os valores mais expressivos para o município (Tabela 1). Tais resultados podem estar ligados à eventos de maior vulnerabilidade, ocasionando problemas com drenagem, como alagamentos e empenhos de obras hidráulicas, principalmente nas áreas urbanas (Silva et al., 2017).

Tabela 1 - Dados das maiores médias diárias totais de eventos de precipitação para a série climatológica de 1962-2017 para o município de Parnaíba, Piauí, Brasil.

<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Data</b>
977,5	01/04/1974
879,7	01/04/1964
826,6	01/04/1985
658,7	01/05/1974
605,5	01/03/1985
589	01/03/1996
554	01/04/1997
553,6	01/04/1986
550,8	01/04/1971
535	01/03/1986
528,3	01/03/1981
521,4	01/03/1975
520,1	01/03/1974
511,9	01/03/1965
491,4	01/03/1963

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Wanderley *et al.* (2018) observaram maiores volumes diários de precipitação registrados entre 1961 e 2016 em Recife, em 11 de agosto de 1970 (335,8 mm) e no dia 24 de maio de 1986 (235 mm), no entanto neste estudo demonstrou diferença nos resultados obtidos, pois o período das chuvas para o município de Parnaíba diminuiu em virtude do início do período seco para o Piauí. Verificou-se que em dados históricos mais recentes (1988-2017) para o município de Parnaíba, há períodos classificados como “muito chuvoso”, nos anos de 1988 e 1991, com a média anual de 1410,8 mm.ano<sup>-1</sup> e 1433,5 mm.ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2).



Tabela 2 - Valores classificatórios da série (1988-2017) para p município de Parnaíba, Piauí, de acordo com os valores estabelecidos para cada classe Quantis.

<b>Ano</b>	<b>Média anual</b>	<b>Valores estabelecidos para Quantis</b>	<b>Classes Quantis</b>	<b>Classificação</b>
2010	637,9	653,65	Q (0,15)	Muito seco
1993	661,9	653,65	Q (0,15)	Muito seco
2016	878,9	882,31	Q (0,35)	Seco
2002	882,8	882,31	Q (0,35)	Seco
2004	994,4	997,28	Q (0,50)	Normal
1997	1000	997,28	Q (0,50)	Normal
2000	1054,9	1055,22	Q (0,65)	Chuvoso
1994	1057	1055,22	Q (0,65)	Chuvoso Muito
1988	1410,8	1419,3	Q (0,85)	chuvoso Muito
1991	1433,5	1419,3b	Q (0,85)	chuvoso

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

No estudo de Monteiro *et al.* (2012) com dados correspondente à série histórica no período de 1980 a 2009 da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, na região do baixo curso do rio Apodi-Mossoró, utilizando a técnica dos Quantis, por meio da metodologia de Pinkayan (1966) e Xavier (2002; 2007), o valor aproximado anual de chuvas foi de 642,8mm, sendo que os intervalos estabelecidos para cada classe extrema indicaram valores abaixo de 299,2 mm, considerados como muito seco e acima de 1059,6 mm como muito chuvosos, no ano de 1985 corresponde ao valor anual extremo de chuvas na série histórica (2.242,1 mm), correspondendo a um desvio positivo em relação ao quantil estabelecido para a classe muito chuvoso (1059,6 mm) de 1.187mm. Por outro lado, o ano de 1983, apresentou 137, 4mm, referente a uma seca catastrófica.

Wanderley *et al.* (2018) analisando a precipitação diária no período de 1961 a 2016 para a cidade de Recife, registraram média pluviométrica anual de 2292,9 mm, com desvio padrão de 482,5 mm. A climatologia dos eventos extremos de precipitação diária para Recife demonstrou que as maiores frequências absolutas dos Quantis de chuva forte, concentradas entre os meses de março e julho, e os meses de junho e julho, registradas a maior ocorrência desses eventos, com 269 e 250 mm, respectivamente. Já os meses de outubro a dezembro

apresentaram menor registro de chuvas diárias, muito fortes ( $25 < X < 50$  mm) ou extremamente fortes ( $X > 50$  mm).

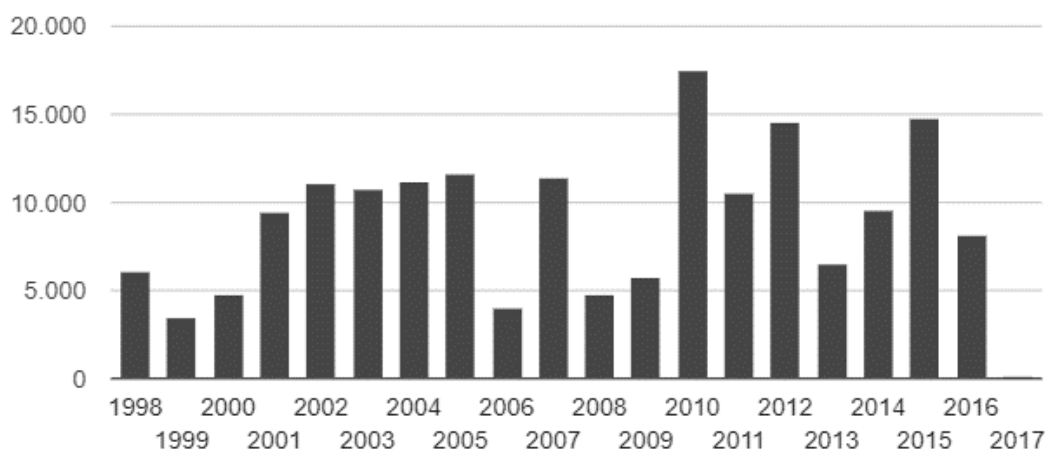
Sobre as secas, tem-se os dados de 2010, onde as médias foram de 637,9 mm.ano-1. Lima *et al.* (2017), com dados históricos climáticos ligado a seca no período de 2010-2016, ocorrente em Parnaíba, os autores classificaram esses anos como períodos mais severa de seca dos últimos 100 anos, para a região. Medeiros *et al.* (2016) analisando o comportamento das condições climatológicas em Bom Jesus, PI, salientam que o cenário futuro é pessimista, sugerindo uma redução de até 20% na precipitação e até 4° C na temperatura média do ar.

Conforme a Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS (2014), os impactos causados por desastres naturais na população nordestina, no período de 20 anos, registraram que a estiagem e a seca foram as que mais afetaram as pessoas, sendo responsáveis por 7% do total de óbitos no país e 0,33% da morbidade.

Resultados semelhantes são encontrados em diversos estudos, indicam que na última década ocorreram os anos mais quentes já registrados e também aumento na ocorrência de eventos extremos. Conforme o Instituto Goddard de Estudos Espaciais (GISS), os registros de temperaturas médias mais elevadas ocorreram após o ano 2000, em 2005 e 2010 (Gráfico 05). À medida que a temperatura do ar da Terra aumenta os padrões pluviais mudam e eventos climáticos extremos, como secas, inundações e incêndios florestais, se tornam mais frequentes (PBMC, 2014).

Visto aos resultados referentes ao período mais seco, pode-se inferir que o aumento de focos de queimadas que ocorreram no estado do Piauí pode estar relacionado aos períodos que apresentaram maiores números de estiagem. Tal constatação pode ser observada nas series históricas do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência entre os anos de 1998-2017 (Gráfico 4) nos dados do Monitoramento dos Focos Ativos nos estados do Brasil: Piauí do CPTEC, em que ocorreram aumento dos focos de queimadas a partir do ano de 2002 e elevado número no ano de 2010. Este período corresponde os anos que apresentaram mais secos, salientando-se ainda que os números de incêndios crescem a partir dos meses de junho a dezembro, meses esses que compreendem ao período de estiagem.

Figura 5 - Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência dos dados do Monitoramento dos Focos Ativos nos estados do Brasil: Piauí do CPTEC entre os anos de 1998-2017.



Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Andrade (2016) salientou que de acordo com dados do monitoramento por satélite do Programa de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) o Piauí ocupa a terceira posição entre os estados com mais registros de focos de incêndio, só perdendo para os estados do Maranhão e Pará.

Silva *et al.* (2017) ressaltam que períodos longos de estiagens podem provocar vários eventos de queimadas, causando uma série de impactos, entre eles: risco à vida humana, poluição do ar com potenciais implicações negativas à saúde, perda de áreas agricultáveis, perda de biodiversidade, alterações em ecossistemas terrestre e lacustres, perda de bens materiais, na agricultura industrializada e na família. Além disso, as queimadas e efeitos de inversões térmicas que concentram a poluição, as alterações de temperatura, umidade e regime de chuvas influenciam a qualidade do ar, principalmente nas áreas urbanas, agravando as doenças respiratórias e alterando as condições de exposição aos poluentes atmosféricos (PBMC, 2014).

Estudos evidenciam que os desastres, afetam principalmente as populações e países mais pobres, devido as condições latentes de vulnerabilidade socioambiental que se encontram relacionadas às desigualdades sociais, econômicas e ambientais. Essas desigualdades se materializam na exposição das populações expostas a estes eventos, nas consequências mais graves sobre a saúde e sobre as condições de vida e na baixa capacidade de governança para estratégias de redução do risco e construção da resiliência (OPAS, 2014).

Uma estimativa de vulnerabilidade das populações brasileiras apontou o Nordeste como a região mais sensível a mudanças climáticas devido aos baixos índices de desenvolvimento

social e econômico (CONFALONIERI, 2005), devido a esses fatores ficam evidentes que as populações mais pobres serão as mais atingidas pelas alterações de clima. Daí a necessidade de se apoiarem futuro próximo, trabalhos que busquem fortalecer a pesquisa científica com forte aderência de questões relativas a recursos naturais à socioeconômica (PBMC, 2014)

Moura (2016) pontua que as ações voltadas à sustentabilidade, podem se obter as melhorias necessárias (âmbitos social, ambiental e econômico) nas cidades afetadas para a estabilização do clima. A ausência de aplicação do desenvolvimento sustentável pode ser considerada como um dos principais motivos da maximização relativa às causas e efeitos das mudanças climáticas na região. Assim, ações com vertente ambiental desempenharia papel de destaque no processo, subsidiando a formação de indivíduos conscientes da importância de novos hábitos de consumo e, embora ela não constituísse a solução de todos os problemas, passaria a ter novo significado, com impactos importantes para a construção da sustentabilidade econômica de uma sociedade justa, capaz de ser efetivamente solidária em relação à geração presente e às futuras (PBMC, 2014).

## **CONCLUSÕES**

Do presente estudo, verificou que as avaliações das tendências ligadas a climatologia para Parnaíba possibilitaram a constatação de algumas tendências climáticas locais e até mesmo para o Estado, tais como período mais seco, maiores números de estiagem entre os anos de 1998-2017, além do aumento de focos de queimadas para Estado do Piauí. Observou-se ainda a aceleração e diminuição hídrica, visto o declínio da precipitação em anos mais recentes (2010) quando comparados a dados antigos (1964), levando a concluir que eventos climáticos e até mesmo ação antrópica estejam contribuindo para este cenário em escala local. Neste sentido, pode-se concluir que as secas estão mais longas, e assim que as tendências climatológicas para o município de Parnaíba existem, tendo como consequência a redução hídrica, devido ao período com anos secos estarem cada vez mais longos, sugere-se que podemos considerá-las com impactos das mudanças climáticas globais.

## Referências bibliográficas

- AGUIAR, R. B., 2004. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí**: diagnóstico do município de Parnaíba. (Org.) Aguiar, R. B., Gomes, J. R. C., CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza. 24 p.
- AMAZON, M. R. M., BORGES, C. K., VIEIRA, L. J. S. Precipitation climatological analysis in the municipality of Bananeiras - PB, in the period 1930-2011 as contribution to Agroindustry. **Green Paper on Agroecology and Sustainable Development**, n. 2, p. 1-10, 2012.
- ANA. **Agência Nacional de Águas**. 2018. Disponível em: 2.ana.gov.br. Acesso em: 21 out 2018.
- ANDRADE, A. J. P., SILVA, N. M., SOUZA, C. R. As percepções sobre as variações e mudanças climáticas e as estratégias de adaptação dos agricultores familiares do Seridó potiguar. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 31, p. 77-96, ago. 2014.
- ANDRADE, P. **Alto número de queimadas no Piauí leva governo a decretar emergência**. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2016/10/alto-numero-de-queimadas-no-piaui-leva-governo-decretar-emergencia.html>. Acesso em: 14 jul. 2018.
- ANTUNES, L., 2014. **Os 10 maiores períodos de seca do Brasil**. Disponível em: [www.Super.abril.com.br/blog/superlidas/-10-maiores-peri](http://www.Super.abril.com.br/blog/superlidas/-10-maiores-peri). Acesso: 15 nov 2018.
- BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: Variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 25, p. 114-124, mar. 2010.
- CHAVES, S. V. V., TAVARES, A. C, ANDRADE, C. S. P. Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí e ações mitigadoras do Poder público. **Sociedade e Território, Natal**, n. 29, p. 175-197, 2017.
- CONFALONIERI, U. E. C., 2005. **Mudanças Climáticas e Saúde Humana**, p 166-171, In: Poppe, M. K, La Rovere, E. L. Mudança do Clima. 1ed. Brasília: Cadernos NAE, n. 3, 250 pp.
- DIEHL, F.P.; SPINOLA, J. L.; DE AZEVEDO, N. T. 2010 - Mudanças climáticas globais e os impactos físicos e biológicos na zona costeira: Uma proposta de classificação. In: Dantas, M.B.; Séguin, E.; Ahmed, F. (org.), **O Direito Ambiental na atualidade**, pp.127-134, Lumen Juris Ltda., Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 9788537507087. Disponível em [http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=9162](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=9162). Acesso em: 13 abr. 2019.
- DINIZ, M. T. M., MEDEIROS, S. C. M., CUNHA, C. J. Sistemas atmosféricos atuantes e diversidade pluviométrica em Sergipe. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 34, p. 17-34, jan-abr. 2014.
- DUARTE, C. C., NÓBREGA, R. S., COUTINHO, R. Q. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município de Ipojuca, Pernambuco. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 32, p. 158-176, 2015.

FARIAS, R. F. L., ALVES, K. M. A. S., NÓBREGA, R.S. Climatologia da ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesorregião do Sertão Pernambucano. **Revista Geonordeste**, Amazonas, v. 1, p. 930-941, out. 2012.

GHINI, R., HAMADA, E., BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola, Piracicaba**, v. 65, p. 98-107, dez. 2008.

GROPPO, J. D., MORAES, J. M. DE, BEDUSCHI, C. E., GENOVEZ, A. M., MARTINELLI, L. A. Trend analysis of water quality in some rivers with different degrees of development within the São Paulo State, Brazil. **Rivers Research and Applications**, v. 1, p. 1-2, out. 2008.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. 2013. **Banco de Dados para Pesquisa e Ensino – BDMEP**. Disponível em: [inmet.gov.br](http://inmet.gov.br). Acesso em: 20 ago. 2018.

INSAF, T. Z., LIN, S., SHERIDAN, S. C. **Climate trends in indices for temperature and precipitation across New York State, 1948–2008**. Air Quality, Atmosphere, and Health. 2012.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151.

KARMESHU, N. **Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test - A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States**. Master of Environmental Studies Capstone Projects. University of Pennsylvania. Department of Earth and Environmental Science. August. 2012.

LACERDA, F. F., NOBRE, P., SOBRAL, M. C. LOPES, G. M. B. Alterações climáticas globais: uma realidade em Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 12, p. 121-154, dez. 2015.

LIMA, M. G. DE, SALVIANO, A. A. C., SANTANA, F. F., FEITOSA, S. M. R. Secas de 2010 a 2016 no Piauí: impactos e respostas do Estado em articulação com os programas nacionais. **Parcerias estratégicas**, Brasília, v. 22, p. 155-180, jan-jun, 2017.

MARENGO, J. A., TOMASELLA, J., NOBRE, C. A. Mudanças climáticas e recursos hídricos. 2011. In: Bicudo, C. E. de M., Tundisi, J. G., Scheuenstuhl, M. C. B. (eds.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. Capítulo 12, 224p. Disponível em: [abc.org.br/rubrique.php3?id\\_rubrique=150](http://abc.org.br/rubrique.php3?id_rubrique=150). Acesso em: 10 nov. 2018.

MEDEIROS, R. M., HOLANDA, R. M., VILAR, H. N. Climate Change in Tacaimbó-PE, Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 8, p. 60-66, 2018.

MEDEIROS, R. M., SILVA, V. M. A., MELO, V. S., MENEZES, H. E. A. Diagnosis and trend rainfall in Bom Jesus - Piauí, Brazil. **Revista verde**, v. 11, p. 115-121, ago. 2016.

MONTEIRO, J., ROCHA, A., ZANELLA, M. Técnica dos Quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): baixo curso do Apodi-Mossoró/RN. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 23, p. 232-249, jul. 2012.

MOURA, D. M. S. Panorama geral sobre a expansão urbana e a influência nas mudanças climáticas: do âmbito mundial ao nordeste brasileiro. In: Araújo AR, Belchior GPN, Viegas TES. **Os impactos das mudanças climáticas no Nordeste brasileiro**. 1ed. Fortaleza, CE: Fundação Sintaf. São Paulo, SP: Instituto o Direito por um Planeta Verde; p. 35-56, 2016.

NOBRE, C. A., YOUNG, SALDIVA, A. F., P. H. N., ORSINI, J. A. M., NOBRE, A. D., OGURA, A. T., THOMAZ, O., PÁRRAGA, G. O. O., SILVA, G. C. M. DA, VALVERDE, M., SILVEIRA, A. C., RODRIGUES, G. de O. Vulnerability of Brazilian Megacities to Climate Change: the São Paulo Metropolitan Region (RMSP). **Climate Change in Brazil: economic, social and regulatory aspects**, v. 1, p. 197-219, 2011.

NUNES, C. R. P. As mudanças climáticas a partir da implantação de empresas de capital estrangeiro no Nordeste: Estado regulador?. In: ARAÚJO, A. R., BELCHIOR, G. P. N., VIEGAS, T. E. S. (Orgs). **Os impactos das mudanças climáticas no Nordeste brasileiro**. Fundação Sintaf, Fortaleza, CE. Instituto O Direito por um Planeta Verde, São Paulo, 2016.

OPAS, Organização Pan-Americana da Saúde. Ministério da Saúde. **Desastres Naturais e Saúde no Brasil**. Brasília, DF: OPAS, Ministério da Saúde, 49 p. il. (Série Desenvolvimento Sustentável e Saúde, 2). 2014.

PBMC. **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo do GT2. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 28 p. 2014.

PENEREIRO, J. C., ORLANDO, D. V. Análise de tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba entre os Estados do Maranhão e Piauí/Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, p. 5-21, 2013

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. Colorado: State University, Boulder-Co, **Hidrology papers**, n. 12, 1966.

PRIORI, J. R. L. **Mudanças Climáticas e possíveis impactos nas cidades costeiras do Nordeste brasileiro**. 2014. Disponível em: [http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc\\_mgr/479/Priori%20Jr.%202013.%20Possiveis%20impactos%20no%20nordeste%20brasileiro%20%28portug%29.pdf](http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc_mgr/479/Priori%20Jr.%202013.%20Possiveis%20impactos%20no%20nordeste%20brasileiro%20%28portug%29.pdf). Acesso em: 22 out. 2018.

RUSZ, O. Temperature and precipitation changes in Târgu-Mures (Romania) from period 1951-2010. 2012. In: Aerul și Apa: **Componente ale Mediului**, p. 397-404.

SANTOS, C. A. C. **Estimativa e Tendências de Índices de Detecção de Mudanças Climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**. 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

SANTOS-FILHO, F. S. Restingas: e quando o vizinho não é a Floresta Atlântica? **Sapiência**, v. 1, p. 40-40, 2010.

SANTOS-FILHO, F. S., ALMEIDA JUNIOR, E. B., ZICKEL, C. S. Do edaphic aspects alter vegetation structures in the Brazilian restinga? **Acta Botanica Brasílica**, Brasília, v. 27, p. 613-623, set. 2013.

SILVA, M. C. L. DA, MENDONÇA, A. M., BONATTI, J. P. Determinação das previsões de temperaturas mínimas e máximas a partir do histórico das previsões de tempo por conjunto do CPTEC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 431-449, dez. 2008.

SILVA, M. N. DA, TEREZA, A., BEZERRA, D. DA S., PEREIRA, L., ELOI, C. M. DE A., SANTOS, A. L. S. DOS. A seca no Maranhão no período de 2010 a 2016 e seus impactos. **Parcerias estratégicas**, Brasília, v. 22, p. 119-138, jan-jun. 2017.

VINCENT, L. A., PETERSON, T. C., BARROSC, V.R., MARINOD, M. B., RUSTICUCCIC, M., CARRASCOE, G., RAMIREZ, E., ALVES, T. AMBRIZZI, L. M., BERLATOI, GRIMM, A. M., MARENGO, J. A., MOLION, L., MONCUNILL, D. F., REBELLO, E., Y. M. T., QUINTANAN, J., SANTOSO, J. L., BAEZ, J., CORONEL, G., GARCIA, J., TREBEJOS, I., BIDEGAIN, M., HAYLOCK, M. R., KAROLY, D. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. **Journal of Climate**, v. 18, p. 5011-5023, 2005.

WANDERLEY, L. S. DE A., NÓBREGA, R. S., MOREIRA, A. B., ANJOS, R. S. DOS, ALMEIDA, C. A. P. de. As chuvas na cidade de Recife: uma climatologia de extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 149- 164, jan-jun. 2018.

WMO, World Meteorological Organization. 2019. Disponível em: [https://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](https://www.wmo.int/pages/index_en.html). Acesso em: 10 fev. 2019.

XAVIER, T. DE M. B. S., XAVIER, A. F. S., ALVES, J. M. B. **Quantis e eventos extremos: aplicações em ciências da terra e ambientais**. Fortaleza: RDS. 278 p., 2007.

XAVIER, T. de M. B. S. **A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras**. Brasília: Thesaurus, 140 p., 2002.

ZHANG, W., YAN, Y., ZHENG, J., LI, L., DONG, X., CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. **Global and Planetary Change**, v. 69, p. 35-47, out. 2009.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou quatro áreas de manguezal pertencentes a APA delta do rio Parnaíba, Nordeste do Maranhão, Brasil. Neste testamos quatro hipóteses para guiar a investigação: 1) A estrutura ecológica da floresta varia significativamente de acordo com sua localização, estado de conservação e com relação a proximidade ao tabuleiro terciário; para tanto verificou-se que há diferenças estruturais entre os bosques de mangue analisados, onde as influências vão além do caráter botânico, e sim por um conjunto de fatores estruturais. As áreas classificadas como conservadas apresentaram perfil estrutural diferenciado, apresentando porte desenvolvido quando comparadas aquelas, que aqui classificamos como em regeneração; posição geográfica dentro da delta em relação ao continente e ao oceano tem influencia na estrutura do bosque maduro; 2) Existem mais de um táxon para *Avicennia* no Delta, e eles são diferenciáveis por abordagens quantitativas; através das análises taxonomias, morfométricas e fitossociológicas, foi possível registrar a presença de um novo táxon para a região não citado, até momento, sendo ela *Avicennia schaueriana* um novo registro; 3) Os taxons vernaculares correspondem a espécies científicas de *Avicennia*, mas sem consistência quando levado em consideração a área total estudada; investigações etnotaxonômicas detalhadas são necessárias para determinar a variedade de caracteres usados pelas especialistas locais para reconhecer os taxons vernaculares de *Avicennia*, que mostraram diferir significativamente e apresentar nomes vernaculares distintos a depender da localidade; 4) Apesar da variabilidade considerável na forma foliar de todas as espécies arbóreas de mangue, a identificação das espécies pelas folhas pode ser feita com segurança; através das análises propostas, verificou-se que há duas espécies pertencentes ao gênero *Avicennia*, e não apenas uma, como reportando anteriormente; as folhas das duas espécies são estatisticamente diferentes em forma e tamanho, mas há uma sobreposição substancial o que torna não confiável a determinação individual baseada apenas das folhas; a diferença na forma foliar entre as espécies foi mais discreta nos bosques menos perturbados e de estatura maior (conservados); as diferenças entre espécies foram expressas principalmente pela variação na largura relativa da folha e na forma da base da folha associada; 5) O estoque de carbono nos bosques mais altos do Delta do Parnaíba são comparáveis aos manguezais mais grandiosos da zona equatorial tanto da Amazônia brasileira, quanto comparados aos inclusive de outros continentes, como africano.

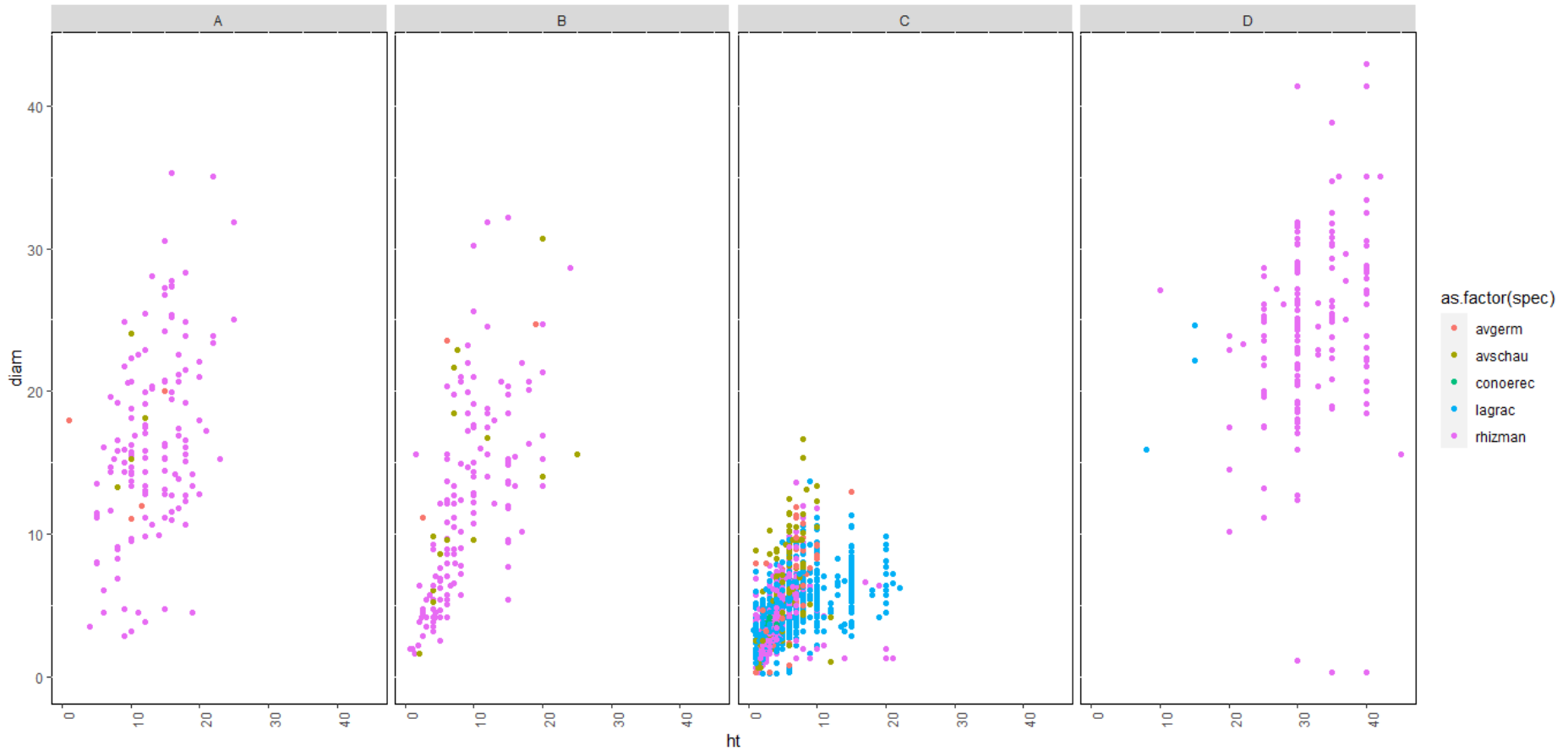
Os resultados descritos neste estudo contribuem com informações sobre a estrutura da comunidade vegetal do manguezal da APA Delta do Parnaíba, visto que até o momento não há estudos desta natureza. Somados a estes, é imprescindível, que haja incentivo à pesquisa e

inovação nessa área, visto que os resultados aqui apresentados subsidiam demais estudos, aqueles relacionados ao efeito estufa é um problema crescente a cada dia, e estudos mais aprofundados nessa área serviria de incentivo para a recuperação da vegetação de manguezal, visando diminuir o nível de carbono na atmosfera e conseqüentemente diminuindo os efeitos das mudanças climáticas globais. Paralelo a isso, podemos inferir ainda a necessidade de estudos de natureza etnotaxonômicas para melhor diferenciação dos táxons, estudos que envolvam a hidrografia do baixo Parnaíba e valendo inclusive de estudos de ordem molecular que somados aos aqui disponibilizados contribuíssem verticalmente com os dados aqui apresentados.



### APÊNDICE A - Gráfico e tabelas referentes ao Manuscrito 2

Gráficos pertencentes ao Manuscrito 2 - Heterogeneidade estrutural em bosques de manguezal em áreas regeneradas e conservadas do Delta do rio Parnaíba, Maranhão, Brasil  
Figura 38. Perfil das espécies distribuídas por áreas relacionando altura e diâmetro das áreas de mangue estudadas em Água Doce e Araiões, Maranhão.



Fonte - Dados da pesquisa (2021)

Tabela 14 - Espécies registradas por áreas neste estudo, Maranhão, Brasil.

Espécies	Nome vernacular	Município e Estado	Localidade	Status	Voucher dos espécimes
<i>Avicennia germinans</i>	Siriba Branca	Água Doce do Maranhão/MA	Mangueirão	Conservado	Nascimento, M. G. P. et. al. 968-997**
<i>Avicennia germinans</i>	Siriba Branca	Araioses/MA	Ilha das Barreiras	Regenerado	Nascimento, M. G. P. et. al. 784-813
<i>Avicennia germinans</i>	Siriba Branca	Araioses/MA	Ilha dos Poldros	Conservado	Nascimento, M. G. P. et. al. 1029-1058
<i>Avicennia schaueriana</i>	Siriba Branca*	Água Doce do Maranhão/MA	Ilhazinha/Salina	Regenerado	Nascimento, M. G. P. et. al. 754-783
<i>Avicennia schaueriana</i>	Siriba Preta*	Água Doce do Maranhão/MA	Mangueirão	Conservado	Nascimento, M. G. P. et. al. 1059-1088
<i>Avicennia schaueriana</i>	Siriba Branca	Araioses/MA	Ilha das Barreiras	Regenerado	Nascimento, M. G. P. et. al. 814-843
<i>Avicennia schaueriana</i>	Siriba Preta*	Araioses/MA	Ilha dos Poldros	Conservado	Nascimento, M. G. P. et. al. 878-907
<i>Conocarpus erectus</i> L.	Mangue de botão	Araioses/MA	Ilha das Barreiras	Regenerado	Nascimento, M. G. P. et al. 844-873
<i>Laguncularia racemosa</i> C. F. Gaertn	Mangue manso	Araioses/MA	Ilha das Barreiras	Regenerado	Nascimento, M. G. P. et al. 908-937
<i>Laguncularia racemosa</i> C. F. Gaertn	Mangue manso	Araioses/MA	Ilha dos Poldros	Conservado	Nascimento, M. G. P. et al. 1133-11135***
<i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangue vermelho	Araioses/MA	Ilha das Barreiras	Regenerado	Nascimento, M. G. P. et al. 670-699
<i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangue vermelho	Araioses/MA	Ilha dos Poldros	Conservado	Nascimento, M. G. P. et al. 1102-1131
<i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangue vermelho	Água Doce do Maranhão/MA	Mangueirão	Conservado	Nascimento, M. G. P. et al. 938-967
<i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangue vermelho	Água Doce do Maranhão/MA	Ilhazinha/Salina	Regenerado	Nascimento, M. G. P. et al. 700-729

\*a mesma espécie recebe nomes vernaculares distintos a depender da localidade despertando assim a interesse em identificar taxonomicamente os vouchers trabalhados neste manuscrito, isentando passivos erros “taxopopulacionais”.

\*\*Por área, coletou-se um número de 30 indivíduos para análises outros desta tese e produção de vouchers

\*\*\* Por sua ocorrência restrita (em números), apenas três indivíduos foram contabilizados para esta subárea (parcelas), embora a mesma seja registrada em maior quantidade, de forma geral neste estudo.

Fonte - Dados da pesquisa, (2021)

Tabela 2 - Conjunto de dados fitossociológicos utilizado para comparação de 39 bosques de mangue no Brasil e Guiana Francesa ao longo da costa norte e leste da América do Sul. Fontes de dados: Abreu *et al.* (2006), Alves *et al.* (2013), Araújo *et al.* (2018), Barbosa (2010), Deus (2000), Deus *et al.* (2003), Fromard *et al.* (1998), Magris & Barreto (2010), Maia *et al.* (2005), Matni *et al.* (2006), Meireles (2016), Nascimento (this study), Santos (2013), Schaeffer-Novelli *et al.* (1990), Souza and Sampaio (2001), Souza and Sampaio (2013). Avic: *Avicennia spp.* Lag: *Laguncularia racemosa*. Rhiz: *Rhizophora mangle*. DR: densidade relativa (%). DoR: dominância relativa (%). DA: densidade absoluta (indivíduos/ha). Diâm: diâmetro (cm). Alt: altura (m). DoA: dominância absoluta (m<sup>2</sup>/ha). max.: máximo/a.

Bosque de Mangue	Localidade	Classificação o Schaeffer-Novelli <i>et al.</i> 1990	Classificação Maia <i>et al.</i> 2005	Classificação Magris & Barreto 2010	Estado de conservação	Avic DR	Lag DR	Rhiz DR	Avic DoR	Lag DoR	Rhiz DoR	DA	Diâm médio	Diâm máx.	Alt média	Alt máx .	DoA
Este estudo Nascimento Área A	Maranhão Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	macrotidal	extração	5,5	0	94,5	5,2	0	94,8	483,3	16,2	35,3	12,9	25	11,6
Este estudo Nascimento Área B	Maranhão Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	macrotidal	regen	10,8	0	89,2	14,8	0	85,2	553,3	12	32,2	8,8	25	8,4
Este estudo Nascimento Área C	Maranhão Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	macrotidal	regen	18,4	58,8	22,3	25,5	54,5	19,6	7213,3	4,4	13,7	5,1	22	13,5
Este estudo Nascimento Área D	Maranhão Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	macrotidal	cons	0	1,9	98,1	0	1,3	98,7	536,7	24,4	43	31,7	45	26,9
Fromard <i>et al.</i> 1998 IV	Guiana Francesa IV	Guianas	Guianas	Guianas	cons	60,9	13,6	20	92,7	0,6	5,6	917	23,6	28	19,6	22,4	24,6
Fromard <i>et al.</i> 1998 V	Guiana Francesa V	Guianas	Guianas	Guianas	cons	14,7	3,8	81,4	73,5	0,6	25,9	780	30,1	30,7	22,7	25,3	33,6
Fromard <i>et al.</i> 1998 VI	Guiana Francesa VI	Guianas	Guianas	Guianas	cons	37,7	50,5	1,8	77,7	15,4	6,5	3310	32,1	33,7	23	29	24,0
Fromard <i>et al.</i> 1998 VII	Guiana Francesa VII	Guianas	Guianas	Guianas	cons	1,5	0	10,7	33,7	0	34,5	3167	21,7	22,9	19,1	23,3	17,8
Deus 2000 salina	Piauí Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	mesotidal	regen	14,7	85,2	0,1	33,1	66,1	0,8	12680	3,6	13,4	1,7	5,6	12,1
Deus 2000 clear	Piauí Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	mesotidal	regen	49,3	35,2	15,5	68	20,1	11,9	2870	9,9	30,2	3,4	7,3	21,9
Deus 2000 preserv	Piauí Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	mesotidal	cons	4,2	6,3	89,5	5,3	5,3	89,4	955	19,5	42,7	11,2	18	34,0

Tabela 2 (cont.).

Meireles 2016 padr	Maranhão Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	macrotidal	conservado	0	0	100	0	0	100	357,9	32,9	67	21	35	7,2
Meireles 2016 antrop	Maranhão Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	macrotidal	extração	74,2	1,52	24,2	55,1	2,6	42,3	347,4	25,8	58,6	12,9	32	4,1
Araujo <i>et al.</i> 2018 A	Piauí Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	mesotidal	egenerando	100	0	0	100	0	0	130	6,4	9,2	3,78	4,7	0,4
Araujo <i>et al.</i> 2018 B	Piauí Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	mesotidal	regenerando	55	45	0	54,5	45,5	0	1240	8	20,7	4,9	9	7,3
Araujo <i>et al.</i> 2018 C	Piauí Delta do Parnaíba	Segment IV	Norte Quaternária	mesotidal	egenerando	41	56	3	53,8	44,6	1,6	1480	6,5	28,7	4	15	5,7
Abreu <i>et al.</i> 2006	Para Bragança	Segment III	Norte Quaternária	macrotidal	conservado	3,2	1,1	95,8	14,6	0,04	85	417,7	13	48	8,9	23	9,1
Alves <i>et al.</i> 2013	Paraíba Bucatu	Segment V	Nordeste Semiárida	mesotidal	regenerando	0	54,6	45,4	0	57,8	42,4	1290	4,3	10	3,5	5	1,7
Barbosa 2010 A1	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	9	19	72	5	43	52	1675	1,4	24	8,8	13,23	18,0
Barbosa 2010 A2	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	22	52	26	1	81	18	775	2,6	23	8,3	11	12,6
Barbosa 2010 A3	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	31	63	6	2,8	97,1	1	2200	1	22,4	7,8	13	15,4
Barbosa 2010 B1	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	3	51	46	3	75,5	21,5	2850	1,1	30	7,3	12,1	30,8
Barbosa 2010 B2	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	5	67	28	2	85	13	900	2,0	21	6,4	8,01	10,0
Barbosa 2010 B3	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	0	42	58	0	72,5	27,5	2325	1,2	25	6,8	10,2	25,4
Barbosa 2010 C1	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	9,5	75,5	15	1	98	1	1325	2,1	26	9,2	14,5	24,6
Barbosa 2010 C2	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	egenerando	38,5	59	2,5	10,1	89,8	0,1	975	2,5	26,7	8,9	13,1	19,1
Barbosa 2010 C3	Pernambuco Pina	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	2	74	24	0,1	96,6	3,3	1550	1,8	24,71	9,4	13,1	23,7
Matni <i>et al.</i> 2006 FG	Para Bragança	Segment III	Norte Quaternária	macrotidal	conservado	10	5	85	17,8	1,78	80,4	79,4	29,5	60	16,9	29,5	47,0
Matni <i>et al.</i> 2006 FdM	Para Bragança	Segment III	Norte Quaternária	macrotidal	conservado	23,8	12,5	63,8	57,5	3,12	39,4	146	31,9	95	14,6	29,5	111,0

Tabela 2 (cont.).

Matni <i>et al.</i> 2006 AC	Para Bragança	Segment III	Norte Quaternária	macrotidal	conservado	15	7,5	77,5	15,1	0,3	82,6	101,6	33,3	89,13	16,3	29	107,0
Santos 2013	Sergipe Brejo Grande	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	conservado	6,3	14,5	79,2	10,4	14,4	75,2	2442	9,82	19,74	7,9	15,63	19,3
Souza & Sampaio 2001 PA	Pernambuco Suape	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	conservado	4	34	62	4	24	72	2525	12,6	23	10,5	14	28,1
Souza & Sampaio 2001 MA	Pernambuco Suape	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	8	86	6	9	84	7	5133	4,4	10	6	10	11,4
Souza & Sampaio 2001 RI	Pernambuco Suape	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	3	61	35	6	49	45	3644	2,4	7	2,2	4	2,3
Souza & Sampaio 2001 RA	Pernambuco Suape	Segment V	Nordeste Leste Úmida	mesotidal	regenerando	0	99	1	0	99	1	9500	4	12	6	10	15,0
Souza & Sampaio 2013 PA	Ceará Pacoti	Segment IV	Nordeste Semiárida	mesotidal	conservado	28	23	49	29	15	56	2483	11,2	31,5	9,6	15,5	24,0
Souza & Sampaio 2013 RV	Ceará Pacoti	Segment IV	Nordeste Semiárida	mesotidal	regenerando	25	65	10	18	32	18	6238	4	11,5	3,1	7,5	7,1
Souza & Sampaio 2013 RSNA	Ceará Pacoti	Segment IV	Nordeste Semiárida	mesotidal	regenerando	32	23	45	42	19	42	3650	8,3	16,5	8,8	15,5	21,9
Souza & Sampaio 2013 RSA	Ceará Pacoti	Segment IV	Nordeste Semiárida	mesotidal	regenerando	8	83	9	14	71	15	3766	3	13,5	2,6	15,5	3,5

Fonte - Dados da pesquisa (2021).



Tabela 15 - Variáveis físico-químicas da água dos Rios Água Doce e dos Poldros. PP= precipitação pluviométrica; SAL= salinidade; TEMP= temperatura; OD= oxigênio dissolvido; TRANSP= transparência; PROF= profundidade; COND= condutividade elétrica; SOL= sólidos totais; TUR= turbidez; N-NO<sub>2</sub>=nitrito; PRS= fósforo solúvel reativo; CLA= clorofila a.

LOCAL	PONTOS	MARES	ESTACAO	MESES	PP	SAL	TEMP	OD	TRANSP	PROF	pH	COND	SOL	TUR	NO2	PRS	CLA
AGD	AGP1A	PM	SECA	JL17	33	39	29.6	3.4	0.87	2.5	3.98	5.611	38644	5.28	0.46	5.37	0.55
AGD	AGP1A	PM	SECA	AG17	12.7	38	29.2	2.85	0.72	1.9	7.22	39.94	37788	12.7	0.46	5.51	3.82
AGD	AGP1A	PM	SECA	ST17	0	38	28.3	2.45	0.77	1.9	5.33	43.55	41440	12.6	0.48	7.22	0.00
AGD	AGP1A	PM	SECA	OT17	4.4	40	28.2	2.45	0.97	1.45	5.25	40.79	18720	7.45	0.46	5.98	0.00
AGD	AGP1A	PM	SECA	NV17	0	34	31.4	2.15	0.82	1.55	5.17	42.62	28198	6.25	0.48	5.66	0.00
AGD	AGP1A	PM	SECA	DZ17	2.6	33	29.7	2.5	0.77	1.55	5.5	43.05	22564	8.53	0.48	5.85	0.00
AGD	AGP1A	PM	CHUVA	JA18	53.9	37	29.18	2.85	0.82	1.8	3.98	5.611	30000	7.23	0.44	5.69	0.00
AGD	AGP1A	PM	CHUVA	FV18	384.6	26	29.35	2.4	0.82	1.75	4.45	35.98	12440	9.03	0.46	5.32	0.00
AGD	AGP1A	PM	CHUVA	MR18	169.2	26	29	2.55	0.72	1.75	3.67	31.37	21220	7.82	0.48	5.24	2.73
AGD	AGP1A	PM	CHUVA	AB18	216.8	32	30	2.2	0.62	3.2	3.27	30.34	61220	8.77	0.49	4.82	0.00
AGD	AGP1A	PM	CHUVA	MA18	177.7	28	28	2.05	0.52	1.3	3.39	32.32	23940	18	0.46	5.45	25.67
AGD	AGP1A	PM	CHUVA	JN18	22.3	38	28	2.55	0.62	2.1	3.32	34.31	33600	14.6	0.46	6.06	3.28
AGD	AGP2A	PM	SECA	JL17	33	34	29.4	3.05	0.72	2.65	4.5	5.899	35314	6.9	0.45	5.19	6.55
AGD	AGP2A	PM	SECA	AG17	12.7	38	30.1	2.75	0.77	2.75	7.15	40.25	38696	12	0.47	5.58	0.55
AGD	AGP2A	PM	SECA	ST17	0	40	28.8	2.5	0.77	2.5	5.35	44.88	39480	15	0.47	6.62	55.70
AGD	AGP2A	PM	SECA	OT17	4.4	35	28.7	2.5	0.92	3.25	5.16	39.91	10900	6.75	0.45	5.96	0.00
AGD	AGP2A	PM	SECA	NV17	0	36	28.4	2.45	0.97	2.85	5.26	43.02	21042	8.93	0.47	5.74	41.50
AGD	AGP2A	PM	SECA	DZ17	2.6	35	30	3.6	0.87	2.65	5.3	43.61	56150	6.11	0.45	5.66	11.47
AGD	AGP2A	PM	CHUVA	JA18	53.9	35	28	3.2	1.125	2.3	4.5	5.899	32954	5.14	0.45	5.77	6.01
AGD	AGP2A	PM	CHUVA	FV18	384.6	24	28.5	2.5	0.77	3.35	4.59	28.2	34960	13.7	0.44	5.37	12.56
AGD	AGP2A	PM	CHUVA	MR18	169.2	26	29	3.25	0.72	2.85	3.96	6	20900	6.14	0.40	5.45	12.56
AGD	AGP2A	PM	CHUVA	AB18	216.8	35	30	2.6	0.77	2.5	4.49	25.39	20020	8.77	0.54	4.79	0.00
AGD	AGP2A	PM	CHUVA	MA18	177.7	38	28	1.85	0.62	3.5	4.31	30.69	27900	10.6	0.45	5.51	0.00
AGD	AGP2A	PM	CHUVA	JN18	22.3	35	29	2.5	0.62	2.65	4.16	36.07	42600	12.2	0.47	5.74	9.28
AGD	AGP2B	BM	SECA	JL17	33	34	31.4	2.85	0.32	1	3.76	5.783	32620	27.7	0.49	5.45	9.28

AGD	AGP2B	BM	SECA	AG17	12.7	40	28.5	2.25	0.42	1	7.07	40.6	16650	23.7	0.47	5.48	2.73
AGD	AGP2B	BM	SECA	ST17	0	35	31.4	2.2	0.42	0.55	5.16	44.78	39800	14.7	0.46	5.69	0.00
AGD	AGP2B	BM	SECA	OT17	4.4	38	31.8	2.25	0.62	0.7	5.34	41.92	38560	12.1	0.46	5.69	37.13
AGD	AGP2B	BM	SECA	NV17	0	31	29.4	1.7	0.57	0.3	4.92	43.92	32286	4.1	0.50	5.85	59.52
AGD	AGP2B	BM	SECA	DZ17	2.6	35	29.5	2	0.52	0.85	5.28	44.18	40856	8.76	0.49	6.83	0.00
AGD	AGP2B	BM	CHUVA	JA18	53.9	36	29.1	1.4	0.72	0.95	3.76	5.783	58144	8.74	0.45	5.74	0.00
AGD	AGP2B	BM	CHUVA	FV18	384.6	24	28.75	2.7	0.32	1.05	4.61	36.11	43160	8.42	0.45	5.40	29.49
AGD	AGP2B	BM	CHUVA	MR18	169.2	25	28	1.15	0.52	0.85	3.96	4.29	21980	8.02	0.40	5.56	9.83
AGD	AGP2B	BM	CHUVA	AB18	216.8	28	29	2	0.52	1	4.21	30.28	21980	8.93	0.44	5.37	6.01
AGD	AGP2B	BM	CHUVA	MA18	177.7	30	31	1.05	0.22	1.2	3.33	33.78	39860	53.2	0.46	7.65	19.66
AGD	AGP2B	BM	CHUVA	JN18	22.3	37	28	1.8	0.62	1.25	3.44	32.83	38000	11.8	0.45	5.85	10.92
AGD	AGP3A	PM	SECA	JL17	33	40	29.3	2.15	1.075	2.75	3.97	6.107	96400	6.72	0.45	5.48	35.49
AGD	AGP3A	PM	SECA	AG17	12.7	39	30.6	2.7	0.67	2.25	7.09	40.55	41514	11.7	0.46	5.56	0.00
AGD	AGP3A	PM	SECA	ST17	0	40	28.2	2.15	0.57	2.5	5.12	44.68	43120	15.3	0.45	8.02	0.00
AGD	AGP3A	PM	SECA	OT17	4.4	39	28.5	1.1	0.82	2.9	5.4	38.86	28440	7.29	0.50	5.66	0.00
AGD	AGP3A	PM	SECA	NV17	0	40	30.4	2.2	0.97	2.8	5.92	43.19	26208	7.75	0.47	5.82	4.37
AGD	AGP3A	PM	SECA	DZ17	2.6	35	30.1	2.3	0.87	1.75	5.22	44.33	32580	9.29	0.63	5.64	0.00
AGD	AGP3A	PM	CHUVA	JA18	53.9	35	28.5	3	0.77	2.75	3.97	6.107	40000	6.23	0.72	6.06	0.00
AGD	AGP3A	PM	CHUVA	FV18	384.6	20	30.35	1.95	0.82	2.95	4.7	35.9	42580	7.05	0.45	5.45	6.01
AGD	AGP3A	PM	CHUVA	MR18	169.2	28	30	1.95	0.62	2.2	3.68	28.86	12440	6.74	0.40	5.53	10.38
AGD	AGP3A	PM	CHUVA	AB18	216.8	34	29	1.75	0.77	3.09	3.42	29.55	22440	11.8	0.50	4.74	0.00
AGD	AGP3A	PM	CHUVA	MA18	177.7	39	29	2.1	0.67	3.2	3.65	34.18	26620	8.85	0.46	5.82	0.00
AGD	AGP3A	PM	CHUVA	JN18	22.3	40	30	2.05	0.62	2.65	3.32	35.4	29600	9.86	0.46	6.17	0.00
BAR	BARP1A	PM	SECA	JL17	33	37.00	29.60	2.60	0.83	2.25	7.15	28.60	34780	9.91	10.33	2.53	0.00
BAR	BARP1A	PM	SECA	AG17	12.7	34.00	29.60	2.75	0.78	1.90	5.54	36.42	35980	11.60	2.93	2.57	4.91
BAR	BARP1A	PM	SECA	ST17	0	30.00	29.70	1.70	0.73	2.00	6.77	33.41	44520	11.20	10.33	2.53	12.01
BAR	BARP1A	PM	SECA	OT17	4.4	36.00	28.20	0.69	0.67	2.30	5.45	38.95	13800	11.60	2.56	2.94	12.01
BAR	BARP1A	PM	SECA	NV17	0	35.00	29.30	2.20	0.77	2.45	6.06	40.08	14800	10.50	4.41	4.54	0.00
BAR	BARP1A	PM	SECA	DZ17	2.6	29.00	28.20	2.25	0.78	2.10	5.44	33.37	28180	9.89	1.81	3.15	0.00

BAR	BARP1A	PM	CHUVA	JA18	53.9	31.00	28.90	1.95	0.57	2.50	4.80	39.50	31012	14.30	2.19	2.68	2.73
BAR	BARP1A	PM	CHUVA	FV18	384.6	17.00	28.90	3.60	0.62	2.10	4.64	23.16	26460	19.50	7.00	2.72	6.55
BAR	BARP1A	PM	CHUVA	MR18	169.2	20.00	30.00	0.90	0.42	2.00	5.14	20.85	50440	18.20	4.78	3.82	7.64
BAR	BARP1A	PM	CHUVA	AB18	216.8	30.00	28.00	1.50	0.32	2.60	5.11	20.86	50440	23.10	4.78	3.41	0.00
BAR	BARP1A	PM	CHUVA	MA18	177.7	25.00	30.00	0.50	0.67	2.10	4.04	25.27	48720	15.40	5.89	2.94	12.56
BAR	BARP1A	PM	CHUVA	JN18	22.3	28.00	28.00	2.90	0.72	1.45	4.11	24.87	56000	6.93	9.96	2.42	0.00
BAR	BARP1B	BM	SECA	JL17	33	40.00	29.70	3.25	0.23	0.95	7.15	31.40	39960	53.10	20.33	2.44	0.00
BAR	BARP1B	BM	SECA	AG17	12.7	39.00	29.30	3.55	0.43	1.20	5.72	39.08	19840	21.00	0.00	2.33	0.00
BAR	BARP1B	BM	SECA	ST17	0	39.00	29.30	0.60	0.53	1.65	6.29	42.69	12000	25.10	21.44	2.70	34.40
BAR	BARP1B	BM	SECA	OT17	4.4	41.00	29.60	1.30	0.37	1.05	5.52	43.95	40000	27.60	8.11	2.61	21.30
BAR	BARP1B	BM	SECA	NV17	0	36.00	29.80	2.20	0.37	1.10	6.64	43.30	40000	24.80	5.15	2.37	0.00
BAR	BARP1B	BM	SECA	DZ17	2.6	33.00	28.40	2.10	0.38	0.90	5.25	44.16	39940	30.90	1.44	2.92	0.00
BAR	BARP1B	BM	CHUVA	JA18	53.9	34.00	29.10	3.40	0.52	1.25	4.87	42.31	25166	19.30	2.56	2.72	0.00
BAR	BARP1B	BM	CHUVA	FV18	384.6	17.00	30.00	3.30	0.52	0.75	5.00	23.47	20340	11.40	5.15	2.87	19.66
BAR	BARP1B	BM	CHUVA	MR18	169.2	18.00	30.00	1.50	0.47	1.00	3.70	20.56	47800	10.10	2.19	2.87	6.01
BAR	BARP1B	BM	CHUVA	AB18	216.8	28.00	29.00	2.05	0.42	1.80	2.90	20.38	27800	13.30	1.81	2.74	0.00
BAR	BARP1B	BM	CHUVA	MA18	177.7	16.00	27.00	1.50	0.42	0.60	3.65	25.98	36660	33.50	4.78	2.53	0.00
BAR	BARP1B	BM	CHUVA	JN18	22.3	36.00	29.00	3.10	0.32	1.00	3.76	33.19	61280	51.60	4.78	2.59	0.00
BAR	BARP2A	PM	SECA	JL17	33	40.00	29.30	3.60	0.88	2.45	7.32	30.10	27900	9.16	0.00	2.31	0.00
BAR	BARP2A	PM	SECA	AG17	12.7	38.00	29.10	4.00	0.43	2.15	5.65	39.12	19260	12.50	1.26	2.70	8.74
BAR	BARP2A	PM	SECA	ST17	0	35.00	29.20	1.08	0.73	2.15	6.05	35.21	21560	11.00	4.04	2.61	11.47
BAR	BARP2A	PM	SECA	OT17	4.4	41.00	27.60	1.74	0.62	2.45	5.41	43.87	34720	43.15	4.41	2.79	11.47
BAR	BARP2A	PM	SECA	NV17	0	39.00	28.80	2.45	0.57	2.50	5.50	43.86	35440	12.10	5.89	2.66	0.00
BAR	BARP2A	PM	SECA	DZ17	2.6	32.00	27.90	1.95	0.68	2.40	4.99	37.71	38800	9.49	2.93	2.57	0.00
BAR	BARP2A	PM	CHUVA	JA18	53.9	33.00	29.10	3.70	0.57	2.60	4.59	42.94	39516	13.90	3.30	3.07	7.10
BAR	BARP2A	PM	CHUVA	FV18	384.6	18.00	28.90	2.75	0.47	2.25	4.13	23.17	22080	22.50	5.52	2.83	1.09
BAR	BARP2A	PM	CHUVA	MR18	169.2	19.00	29.00	1.15	0.32	2.75	3.60	20.38	36300	14.40	9.59	2.81	0.00
BAR	BARP2A	PM	CHUVA	AB18	216.8	30.00	28.00	2.25	0.37	2.40	2.93	17.30	55900	23.90	4.78	2.42	0.00
BAR	BARP2A	PM	CHUVA	MA18	177.7	22.00	29.00	2.25	0.42	2.70	3.45	26.68	38380	22.90	5.52	2.85	0.00

BAR	BARP2A	PM	CHUVA	JN18	22.3	18.00	28.00	3.55	0.62	1.90	3.75	26.40	79480	7.30	11.44	2.76	0.00
BAR	BARP2B	BM	SECA	JL17	33	39.00	30.90	4.00	0.33	1.10	7.22	29.10	40040	20.80	0.00	2.61	0.00
BAR	BARP2B	BM	SECA	AG17	12.7	39.00	29.30	2.05	0.43	1.40	5.51	38.18	27946	20.50	6.63	2.66	3.82
BAR	BARP2B	BM	SECA	ST17	0	39.00	29.40	2.52	0.48	1.35	5.89	42.73	50480	17.10	28.11	4.99	0.00
BAR	BARP2B	BM	SECA	OT17	4.4	36.00	29.70	2.00	0.57	1.25	5.45	38.95	25400	11.60	4.41	2.63	5.46
BAR	BARP2B	BM	SECA	NV17	0	36.00	30.40	2.60	0.72	1.20	5.58	44.76	25000	10.60	7.00	2.47	0.00
BAR	BARP2B	BM	SECA	DZ17	2.6	35.00	28.70	2.35	0.78	1.20	5.26	44.95	22800	8.50	3.30	3.54	0.00
BAR	BARP2B	BM	CHUVA	JA18	53.9	32.00	30.10	1.85	0.52	1.20	4.38	42.34	25166	14.70	1.07	2.81	0.00
BAR	BARP2B	BM	CHUVA	FV18	384.6	19.00	29.30	2.00	0.42	1.10	4.40	23.30	32080	11.90	5.89	2.83	4.37
BAR	BARP2B	BM	CHUVA	MR18	169.2	17.00	29.00	1.00	0.42	1.00	3.53	19.56	36220	11.30	4.78	2.79	0.00
BAR	BARP2B	BM	CHUVA	AB18	216.8	28.00	28.00	2.20	0.47	1.10	2.96	18.50	36220	20.00	25.52	2.53	43.14
BAR	BARP2B	BM	CHUVA	MA18	177.7	26.00	29.00	1.60	0.52	0.80	3.48	25.77	55320	11.70	4.41	2.98	0.00
BAR	BARP2B	BM	CHUVA	JN18	22.3	24.00	28.00	3.90	0.42	0.90	3.51	35.31	39620	16.50	5.89	2.44	0.00
BAR	BARP3A	PM	SECA	JL17	33	42.00	30.80	4.10	0.30	0.30	7.27	32.10	40120	15.00	2.56	2.44	0.00
BAR	BARP3A	PM	SECA	AG17	12.7	44.00	30.40	3.55	0.30	0.30	5.14	41.43	37750	44.00	33.67	6.66	8.74
BAR	BARP3A	PM	SECA	ST17	0	45.00	31.17	2.07	0.30	0.30	5.79	19.77	41320	75.60	7.37	2.66	4.37
BAR	BARP3A	PM	SECA	OT17	4.4	35.00	28.20	1.25	0.40	1.00	5.61	43.50	26040	7.12	9.59	2.83	4.37
BAR	BARP3A	PM	SECA	NV17	0	35.00	29.00	3.60	0.30	0.30	5.68	43.85	26040	15.00	4.78	2.44	22.93
BAR	BARP3A	PM	SECA	DZ17	2.6	44.00	28.70	2.45	0.30	0.30	5.11	46.77	37840	9.15	2.19	3.13	3.82
BAR	BARP3A	PM	CHUVA	JA18	53.9	37.00	28.80	2.80	0.30	0.30	4.51	41.03	44746	12.40	1.44	2.44	0.00
BAR	BARP3A	PM	CHUVA	FV18	384.6	24.00	29.10	1.10	0.30	0.30	4.20	29.22	20460	8.71	2.56	9.58	8.19
BAR	BARP3A	PM	CHUVA	MR18	169.2	23.00	29.00	1.50	0.47	1.00	3.70	20.56	38480	22.60	28.85	2.92	3.82
BAR	BARP3A	PM	CHUVA	AB18	216.8	26.00	27.00	1.75	0.37	1.50	3.17	19.18	42220	70.50	15.15	2.76	48.71
BAR	BARP3A	PM	CHUVA	MA18	177.7	26.00	26.00	2.00	0.30	1.00	3.35	34.33	50920	10.50	2.19	2.61	5.46
BAR	BARP3A	PM	CHUVA	JN18	22.3	26.00	28.00	2.65	0.30	1.00	3.51	43.03	31760	39.54	2.56	2.79	0.00
BAR	BARP3B	BM	SECA	JL17	33	40.00	29.90	3.10	0.30	0.30	7.25	35.30	33980	6.04	1.44	2.37	2.18
BAR	BARP3B	BM	SECA	AG17	12.7	41.00	32.70	5.50	0.30	0.30	6.07	44.50	37480	41.00	2.19	5.86	1.64
BAR	BARP3B	BM	SECA	ST17	0	37.00	32.17	2.30	0.30	0.30	6.37	48.68	45920	19.00	7.74	4.97	3.28
BAR	BARP3B	BM	SECA	OT17	4.4	39.00	31.10	1.27	0.30	0.30	5.12	44.03	44080	7.59	14.04	3.00	5.46

BAR	BARP3B	BM	SECA	NV17	0	39.00	30.60	3.50	0.30	0.30	5.58	45.04	45260	14.00	3.30	2.83	2.73
BAR	BARP3B	BM	SECA	DZ17	2.6	40.00	28.40	1.65	0.30	0.30	5.23	44.70	37660	17.10	1.44	3.28	99.93
BAR	BARP3B	BM	CHUVA	JA18	53.9	37.00	29.80	4.20	0.30	0.30	4.43	42.71	39448	24.40	1.44	2.81	3.82
BAR	BARP3B	BM	CHUVA	FV18	384.6	23.00	29.50	1.80	0.30	0.30	4.13	28.39	28500	16.20	3.67	4.50	0.00
BAR	BARP3B	BM	CHUVA	MR18	169.2	25.00	28.00	3.00	0.30	0.30	3.42	26.44	50700	15.30	4.04	4.37	0.00
BAR	BARP3B	BM	CHUVA	AB18	216.8	38.00	28.00	2.00	0.27	0.30	3.06	15.90	50700	23.60	6.26	2.57	0.00
BAR	BARP3B	BM	CHUVA	MA18	177.7	30.00	29.00	2.85	0.30	0.30	3.61	34.84	36860	17.40	5.89	2.81	2.73
BAR	BARP3B	BM	CHUVA	JN18	22.3	30.00	28.00	2.40	0.30	0.30	3.70	42.63	32898	8.92	3.67	2.76	0.00

Fonte - Dados da pesquisa (2021).

## APÊNDICE B - Calendário Socioambiental das espécies de mangue ocorrentes na Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba

# Calendário 2022

### Diversidade ambiental do Mangues do Delta do Rio Parnaíba, Maranhão, Brasil



**Janeiro**

D	S	T	Q	Q	S	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

● 02 ○ 09 ○ 17 ● 25  
1: Confraternização universal



**Fevereiro**

D	S	T	Q	Q	S	S
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28					

● 01 ○ 08 ○ 16 ● 23



**Março**

D	S	T	Q	Q	S	S
			1	2	3	4
			5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

● 02 ○ 10 ○ 18 ● 25  
1: Carnaval, 2: Cinzas, 8: Dia Internacional da Mulher



**Abril**

D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

● 01 ○ 09 ○ 16 ● 23 ● 30  
15: Paixão de Cristo, 17: Páscoa, 19: Dia do Índio, 21: Tiradentes, 22: Descobrimto do Brasil



**Maio**

D	S	T	Q	Q	S	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

● 08 ○ 16 ● 22 ● 30  
1: Dia do Trabalho, 8: Dia das mães



**Junho**

D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
					3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

● 07 ○ 14 ● 21 ● 28  
12: Dia dos Namorados, 16: Corpus Christi



**Julho**

D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

● 06 ○ 13 ● 20 ● 28



**Agosto**

D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
					3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

● 05 ○ 11 ● 19 ● 27  
14: Dia dos Pais



**Setembro**

D	S	T	Q	Q	S	S
						1
						2
						3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

● 03 ○ 10 ● 17 ● 25  
7: Independência do Brasil



**Outubro**

D	S	T	Q	Q	S	S
						1
						2
						3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

● 02 ○ 09 ● 17 ● 25  
12: Nsa. Sra. Aparecida, 15: Dia dos Professores



**Novembro**

D	S	T	Q	Q	S	S
						1
						2
						3
						4
						5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

● 01 ○ 08 ● 16 ● 23 ● 30  
2: Finados, 15: Proclamação da República, 19: Dia da Bandeira, 20: Dia da Consciência Negra



**Dezembro**

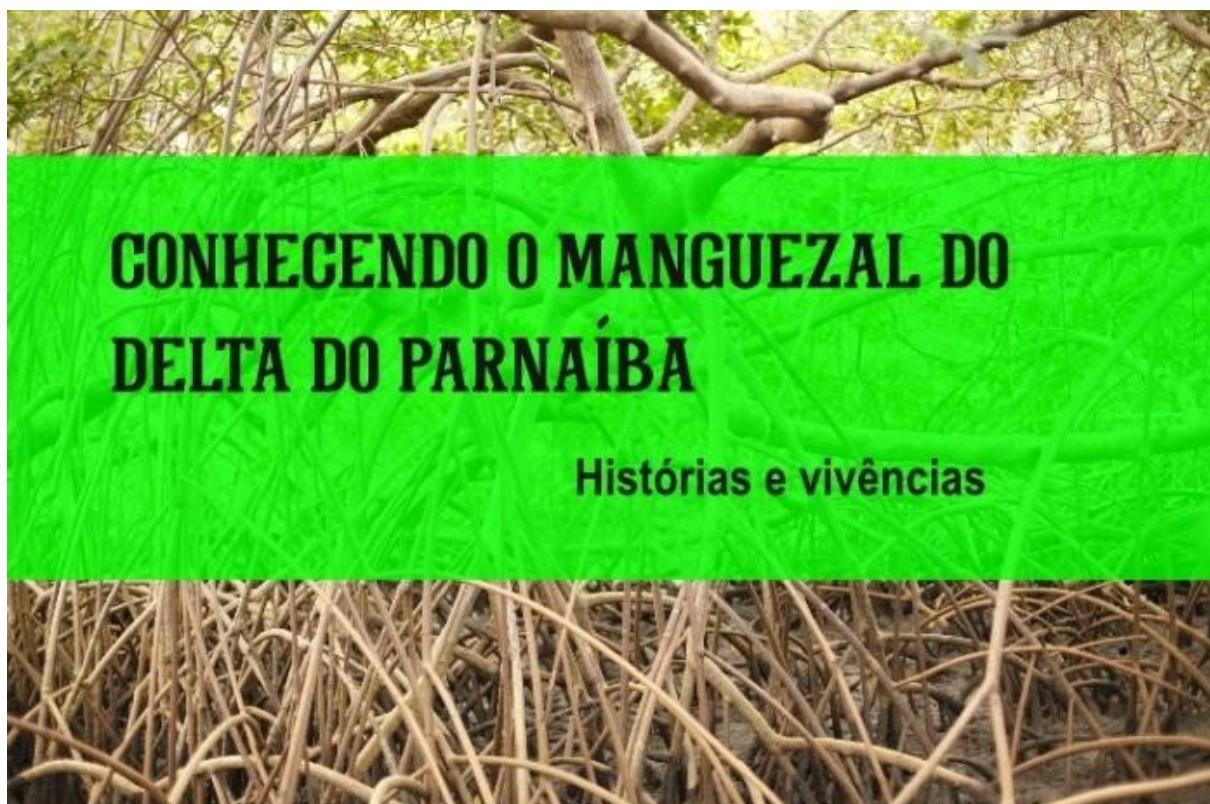
D	S	T	Q	Q	S	S
						1
						2
						3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

○ 08 ● 16 ● 23 ● 29  
25: Natal

<sup>1</sup>Maria Gracelia Paiva Nascimento, <sup>2</sup>Simon Joseph Mayo, <sup>3</sup>Ivaniza Moreira de Andrade  
<sup>1</sup>Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa de pós-graduação pelo PRODEMA/UFPI, Campus Ministro Petrônio Portella. E-mail: graceliapaiva@gmail.com, Bolsista CAPES  
<sup>2</sup>Pesquisador do Herbarium, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond TW9/UK. E-mail: simonjosephmayo@gmail.com  
<sup>3</sup>Docente do curso de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente PRODEMA/UFPI/UFPI; E-mail: ivanizaandrade@hotmail.com

APÊNDICE C - Cartilha “Conhecendo o Manguezal do Delta do Parnaíba”, em construção



**CONHECENDO O MANGUEZAL DO  
DELTA DO PARNAÍBA**

**Histórias e vivências**

**CONHECENDO O MANGUEZAL DO  
DELTA DO PARNAÍBA**

**Histórias e vivências**

**SUMÁRIO**

Apresentação.....	00
Manguezais do Brasil.....	00
Manguezais do Delta.....	00
Ocorrência.....	00
Importância socioambiental.....	00
Flora.....	00
Fauna.....	00
Ecoturismo.....	00
Águas e solo.....	00
Práticas de uso sustentável e manejo.....	00
Vivências.....	00
Jogos - Conhecendo os manguezais do Delta do Parnaíba.....	00







## ANEXO A - Cadastro no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – SISGEN



Ministério do Meio Ambiente  
**CONSELHO DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO**  
 SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO

Comprovante de Cadastro de Acesso

Cadastro nº AE57515

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético/CTA, nos termos abaixo resumida, foi cadastrada no SisGen, em atendimento ao previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos.

Número do cadastro: **AE57515**  
 Usuário: **Universidade Federal do Piauí**  
 CPF/CNPJ: **06.517.387/0001-34**  
 Objeto do Acesso: **Patrimônio Genético/CTA**  
 Finalidade do Acesso: **Pesquisa**

### Espécie

**Rhizophora mangle**  
**Avicennia schaueriana**  
 coleta de especies vegetais

### Fonte do CTA

CTA de origem identificável diretamente com provedor

### Provedor

presidente da colonia Z-78 de Água Doce do Maranhão

Título da Atividade: **ECOLOGIA, SISTEMÁTICA, SEQUESTRO DE CARBONO E ETNOBOTÂNICA NO DELTA DO PARNAÍBA**

### Equipe

<b>GIOVANNA SANTOS DE SOUZA</b>	<b>Universidade Federal do Piauí</b>
<b>Maria Gracelia Paiva Nascimento</b>	<b>Universidade Federal do Piauí</b>

## ANEXO B - Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO para Autorização de atividades com finalidade científica



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

### Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 61641-2	Data da Emissão: 03/12/2019 20:53:56	Data da Revalidação*: 01/12/2019
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

#### Dados do titular

Nome: MARIA GRACELIA PAIVA NASCIMENTO	CPF: 024.925.643-63
Título do Projeto: ECOLOGIA, SISTEMÁTICA E SEQUESTRO DE CARBONO EM DUAS ÁREAS DE MANGUE DO DELTA DO PARNAIBA, MARANHÃO, BRASIL	
Nome da Instituição: FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI	CNPJ: 06.517.387/0001-34

#### Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta, Organização e tratamento dos dados	12/2017	01/2021
2	Qualificação	11/2019	12/2019
3	Defesa da tese	11/2020	12/2020
4	Redação dos resultados e da conclusão	03/2018	12/2020
5	Apresentação dos resultados parciais em eventos científicos	03/2018	12/2020
6	Reconhecimento da área de estudo	12/2017	06/2018

#### Observações e ressalvas

1	Esta autorização NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
2	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infraestrutura da unidade.
3	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
4	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
5	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, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas à autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
6	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ.
7	Este documento não 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 <a href="http://www.mma.gov.br/gen">www.mma.gov.br/gen</a> .

Este documento 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](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).

Código de autenticação: 0616410220191203

Página 1/4



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

### Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 61641-2	Data da Emissão: 03/12/2019 20:53:56	Data da Revalidação*: 01/12/2019
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

#### Dados do titular

Nome: MARIA GRACELIA PAIVA NASCIMENTO	CPF: 024.925.643-63
Título do Projeto: ECOLOGIA, SISTEMÁTICA E SEQUESTRO DE CARBONO EM DUAS ÁREAS DE MANGUE DO DELTA DO PARNAÍBA, MARANHÃO, BRASIL	
Nome da Instituição: FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI	CNPJ: 06.517.387/0001-34

#### Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Descrição do local	Município-UF	Bioma	Caverna?	Tipo
1	Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba	MA	Marinho	Não	Dentro de UC Federal

#### Atividades

#	Atividade	Grupo de Atividade
1	Pesquisa em unidade de conservação federal	Dentro de UC Federal
2	Acesso ao patrimônio genético ou ao conhecimento tradicional associado	Dentro de UC Federal
3	Pesquisa socioambiental em UC federal	Dentro de UC Federal
4	Coleta/transporte de material botânico, fúngico ou microbiológico	Dentro de UC Federal

#### Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxon	Qtde.
1	Coleta/transporte de material botânico, fúngico ou microbiológico	Plantae	-
2	Coleta/transporte de material botânico, fúngico ou microbiológico	Angiospermae	-
3	Coleta/transporte de material botânico, fúngico ou microbiológico	Magnoliophyta	-
4	Coleta/transporte de material botânico, fúngico ou microbiológico	Pteridophyta	-

#### Materiais e Métodos

#	Tipo de Método (Grupo taxonômico)	Materiais
1	Amostras biológicas (Plantas)	Folhas, Rizoma, Flor, Frutos/estróbilos, Ramos, Casca, Semente, Raízes, Caule
2	Método de captura/coleta (Plantas)	Captura manual, Coleta manual

*Este documento 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](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).*

Código de autenticação: 0616410220191203

Página 2/4



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

### Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 61641-2	Data da Emissão: 03/12/2019 20:53:56	Data da Revalidação*: 01/12/2019
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

#### Dados do titular

Nome: MARIA GRACELIA PAIVA NASCIMENTO	CPF: 024.925.643-63
Título do Projeto: ECOLOGIA, SISTEMÁTICA E SEQUESTRO DE CARBONO EM DUAS ÁREAS DE MANGUE DO DELTA DO PARNAIBA, MARANHÃO, BRASIL	
Nome da Instituição: FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI	CNPJ: 06.517.387/0001-34

#### Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo destino
1	FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI	Coleção

*Este documento 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](http://www.icmbio.gov.br/sisbio)).*

**Código de autenticação: 0616410220191203**

**Página 3/4**





ANEXO C - Artigo publicado na Revista *Feddes Repertorium**Feddes Repertorium* 2021, 0, 1–31

DOI: 10.1002/fedr.202000025

RESEARCH PAPER

# Distinguishing the Brazilian mangrove species *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* (Acanthaceae) by elliptic Fourier analysis of leaf shape

Maria Gracelia Paiva Nascimento<sup>1</sup>, Simon Joseph Mayo<sup>2</sup> , Ivanilza Moreira de Andrade<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Federal University of Piauí, Teresina, Piauí, Brazil

<sup>2</sup> Department of Identification and Naming, Royal Botanic Gardens Kew, Surrey, TW9 3AE, UK

The diagnostic value of leaf shape for mangrove species *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* was examined in four areas within the Rio Parnaíba delta, Maranhão, Brazil. Elliptic Fourier analysis of 627 leaves, followed by principal component analysis, provided shape and size data; the first seven principal component shape variables expressed 99.2% total variation. Discrimination between twelve combinations of species, location and disturbance levels was studied using k-nearest-neighbour classification. The species differed significantly in leaf shape but determination was reliable only in the tallest undisturbed forest (*germinans* narrowly elliptic or ovate, base acute, apex acute to acuminate; *schaueriana* broadly obovate, base attenuate, apex rounded). Symmetric variables (PC1 and PC3, 84.5% total variation) showed strongest differences. Predominant variation between species was in relative width and base shape (PC1), and within species in ovateness (PC3) between conserved and regenerating areas. Leaves were significantly smaller in *A. schaueriana*. Vernacular taxa *siriba branca* and *siriba preta* were inconsistent with taxonomic species but often significantly different in leaf shape. *Avicennia germinans* varied more under different geographical and ecological conditions. Shape-size correlation needs further allometric study. Species delimitation needs morphometric study of a broader character range. Vernacular taxa recognition should be studied with ethnobiological techniques.

Submitted: July 8, 2020  
Revised: December 2, 2020  
Accepted: December 4, 2020

## Keywords:

k-nearest-neighbor, mangrove, Maranhão, morphometrics, Rio Parnaíba delta, species discrimination, vernacular taxa

## 1. Introduction

One of the world's tallest and most extensive mangrove forests is to be found in Brazil's northern littoral region (Kjerfve & Lacerda 1993, Menezes et al. 2008, Magris & Barreto 2010, Spalding et al. 2010, Pelage et al. 2019), composed of the coastlines of the States of Amapá, Pará and Maranhão. The Rio Parnaíba delta, where the present study was carried out, includes part of the littoral

of eastern Maranhão as well as Piauí and marks the boundary between the northern (macrotidal) and north-eastern (mesotidal) coastal eco-regions of Brazil (Maia et al. 2005, Magris & Barreto 2010). Studies of the Parnaíba delta region have dealt with various aspects of the ecological (Fernandes et al. 1996, Nascimento 1999, Deus 2000, Deus et al. 2003, Castro 2007, Araújo et al. 2018), economic (Cavalcanti et al. 2007, Affe et al. 2018), geographic (Mochel 2002, Cavalcanti 2004, Maia et al. 2005), conservation-related (Marcelino et al. 1999, Nascimento & Sassi 2001, Araripe 2005, Araripe et al. 2006) and ethnobotanical (Meireles 2012, 2016, Meireles et al. 2017, Meireles et al. 2018) features of mangrove habitats and species.

**Correspondence:** Dr Simon Joseph Mayo, Department of Identification and Naming, Royal Botanic Gardens Kew, Kew Green, Richmond, Surrey, TW7 6AE, U.K.

**E-mail:** simonjosephmayo@gmail.com

Telephone: (0044) 7895 194974. Fax: (0044) 208 332 5278.

A critical requirement of many ecological studies of mangrove species is for correct botanical determination. Two important resources for field identification are experienced local inhabitants of mangrove areas, who use vernacular names, and leaf characters which vary widely and are easily observed; this is especially relevant for intensive studies (e.g. phytosociology) that necessitate field identification of every tree sampled, even when flowers and fruits are absent. Among the typical Neotropical mangrove trees, *Avicennia* L. (Acanthaceae) presents significant challenges for identification using vegetative characters and flowers are needed for reliable determination (Tomlinson 2016). Its leaf shape variation has been a stimulus to quantitative systematic morphological studies of palaeotropical mangroves, especially in Australia (Duke 1990, 1991, 1992), but there are no equivalent studies for Neotropical species. *Avicennia* species have a high tolerance of hypersaline conditions due to salt-excreting glands and specialized anatomy (Tomlinson 2016), making them prominent and widespread components of mangrove communities. The eight species of the genus are distributed along tropical and subtropical coasts throughout the world (Duke 1992, Dodd et al. 2000, Tomlinson 2016, Spalding et al. 2010, Mori et al. 2015b). Trees can reach over 30 m in height and the roots produce vertical, aerial pneumatophores which play a role in respiration in flooded soil (Tomlinson 2016). The opposite leaves are simple, coriaceous and densely tomentose on the lower surface. The fruits are essentially viviparous, with the well-developed embryo functioning as the dispersal unit (Tomlinson 2016).

Leaf shape and floral characters have long been used by systematists to distinguish the two species that are currently known to occur in Brazil (Menezes et al. 2008, Mori 2013, Mori et al. 2015a, Mori et al. 2015b, Profice et al. 2020). Today these are named as *Avicennia germinans* (L.) L. and *A. schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, but were recognized and distinguished much earlier by J.C. Schauer in his treatment for the *Flora brasiliensis* (Schauer 1851) under different names (*A. nitida* Jacq. and *A. tomentosa* Schauer non Jacq., respectively). The morphological characters he used to separate them are much the same as those used today. He emphasized style length and pubescence of the corolla lobes, but also distinguished the two species by leaf shape: *A. germinans* – corolla lobes tomentose on both surfaces, style distinct and exerted from calyx after corolla has fallen, leaves lanceolate or oblong-lanceolate, acuminate at both ends with acute apex; *A. schaueriana* – corolla lobes glabrous on inner surface, style almost completely lacking, stigma subsessile on ovary apex, leaves obovate-elliptic, very obtuse, attenuate into petiole. Moldenke (1960), in his revision of the genus, distinguished the two species in Trinidad by corolla lobe pubescence and leaf apex shape (*A. germinans*:

"usually sharply acute"; *A. schaueriana*: "usually rounded") and cited Stearn's (1958) treatment for the Antilles, which differed only by adding the style character (*A. germinans*: "style elongated"; *A. schaueriana*: "style very short, the stigma hence almost sessile"). Tomlinson (2016) did not include leaf characters in the part of his key which separates the two species, but used corolla pubescence, degree of corolla zygomorphy, and stamen characters (*A. germinans*: more zygomorphic corolla, stamens of slightly unequal length and exerted from corolla; *A. schaueriana*: less zygomorphic corolla, stamens equal in length, not exerted but included within corolla). Daniel, in his revision of *Avicennia* for North America and Mesoamerica (Daniel 2016: his Fig. 4), showed elliptic to narrowly obovate leaves for *germinans* (he did not treat *schaueriana*) and noted the post-anthesis style elongation referred to by Schauer (1851). Mori (2013), studying Brazilian material, distinguished the two species by leaf shape (*A. germinans*: ovate, blunt-tipped; *A. schaueriana*: obovate), stamen exertion and corolla pubescence. All these taxonomic accounts rely on the difference in corolla pubescence, but differ to some extent in the other characters used for diagnosis.

The value of leaf shape for identification is weakened by evidence that environmental conditions can have a considerable effect on both shape and size in *Avicennia* species. In Costa Rican populations of *A. germinans*, Soto and Corrales (1987) demonstrated significant variation in both leaf size and shape linked to soil salinity and seasonality of the local climate. Leaves of plants in more saline conditions were smaller but increased in size with diminishing salinity and shorter dry seasons. Where trees were taller due to greater rainfall, elliptic leaves (both broad and narrow) predominated, but in more seasonal climates with lower rainfall the trees were shorter and had a higher proportion of obovate and elliptic-obovate leaves. Duke (1990) observed that leaf attributes in the Australasian *A. marina* complex were influenced by environmental factors. He found that leaves of *A. marina* varied in size and shape within a single estuarine region according to level of shade and length of tidal submergence. Cruz et al. (2019), in a study of Brazilian *A. schaueriana*, showed that leaf size was smaller in equatorial populations which experienced highly seasonal rainfall than in subtropical populations without a dry season.

The present investigation arose from a recent phytosociological study of mangrove forest in the Rio Paranaíba delta (Nascimento, in prep.). We observed wide variation in leaf shape in individuals of the genus *Avicennia* in four study areas that had been selected to compare vegetation structure; these contrasted two geographical locations within the delta region and two levels of human disturbance – conserved forest areas



or forest regenerating from previous clear felling for salt production. Two local informants from each of the two localities participated in the survey and provided vernacular field identifications of two kinds of *Avicennia* trees, naming them as *siriba branca* (white siriba) or *siriba preta* (black siriba). These observations thus suggested the presence of *A. schaueriana* as well as *A. germinans*. Both species are recorded for the northern coast of Brazil, but *A. schaueriana* is not abundant in the main mangrove forests of Pará and Maranhão states (Menezes et al. 2008) and there is no reliable published record of *A. schaueriana* from the mangrove forest of the Rio Parnaíba delta. *Avicennia germinans*, on the other hand, has been reported for the Parnaíba delta by various authors (Deus et al. 2003, Andrade et al. 2012, Meireles 2012, Mori 2013, Andrade et al. 2014, Mori et al. 2015a, Mori et al. 2015b, Santos-Filho et al. 2015, Meireles 2016, Araújo et al. 2018, Meireles et al. 2018, Silva et al. 2020).

By sampling flowering trees, we confirmed the occurrence of both *A. germinans* and *A. schaueriana* within the four study areas using presence or absence of pubescence on the adaxial surface of the corolla. We decided to undertake a more detailed study of leaf outline shape variation within the two species to assess its value for identification. Although sparing in the use of leaf shape in his key, Tomlinson noted (2016: 78, 192) that it could be diagnostic for some species in *Avicennia* and figured ranges of within-species variability, including *A. germinans* (Tomlinson 2016: 79, 196–197) but not *A. schaueriana*. The acknowledgement of within-species variability of outline shape, combined with its frequent use for practical species diagnosis, suggested that a morphometric comparison of the leaf outline shape of the two species would be a worthwhile goal.

So far, relatively few morphometric investigations have been made of mangrove species. Duke (1990, 1991, 1992) published important quantitative studies of *Avicennia* morphology using multivariate morphometrics to investigate variation in flowers, fruits and leaves of five Australian species. Dominguez et al. (1998) used multivariate morphometrics to investigate between- and within-population variation in the flowers of Mexican populations of *Rhizophora mangle* L. Geometric morphometric analyses (Claude 2008, Zelditch et al. 2012a, b) have also been applied to leaf shape variation in mangrove species: Coronado et al. (2008) investigated *Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob. (Rhizophoraceae) in the Philippines using elliptic Fourier analysis (EFA) and Robot et al. (2018) used both landmarks and EFA to compare leaf outlines in *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. at two different localities in North Sulawesi, Indonesia. In our study region, these techniques have also been used to study leaf shape in other angiosperm

taxa by Silva et al. (2012, *Montrichardia* Crueg.) and Vieira et al. (2014, *Anacardium occidentale* L.). Because *Avicennia* leaves have smooth outlines lacking obvious landmarks, we decided to use EFA for the present study. Our approach focused on the leaf shape variation of each species within the study areas where they occurred and compared species shapes using computational methods. We also compared leaf size variation in the different populations and tested for correlations between size and shape.

Using the four study areas as our framework, we sought to determine the degree to which leaf outline shape: A) discriminates 1) the two species overall; 2) conserved (undisturbed) populations of the two species; 3) conserved and regenerating populations of the same species; 4) conserved populations of the same species; 5) vernacular taxa (*siriba branca*, *siriba preta*) belonging to the same species; 6) different geographic locations overall; 7) conserved and regenerating areas overall; 8) the seven studied populations of the two *Avicennia* species; B) is correlated with leaf size and if the latter varies significantly within and between species and populations.

## 2. Material and methods

### Access authorization

This study is registered (No. 61641) with the Brazilian Federal System for Authorization and Information on Biodiversity (SISBIO: Sistema de Autorização e Informação da Biodiversidade) of the Chico Mendes Institute for Conservation of Biodiversity (ICMBio), and it has been submitted to the National System for the Management of Genetic Heritage and Associated Traditional Knowledge (SisGen) under the protocol no. AE57515 (Patrimônio Genético/CTA), as required under Federal Law no. 13.123/2015.

### The four study areas

The field studies were carried out between 2017 and 2019 in the Brazilian state of Maranhão, in the Delta do Rio Parnaíba Environmental Protection Area (APA) conservation unit. The Rio Parnaíba delta (Figs. 1A, 1B) covers an area of 2,750 sq. km, and 70% of its area lies within the state of Maranhão (IBAMA 1998). The climate is subhumid tropical with well-defined dry and rainy seasons, each of six months duration. Soils in the delta region itself include gleysols, alluvial and mangrove soils and quartzitic sand deposits resulting from dune invasion (EMBRAPA 2006). The mangrove soils are composed of deposits of silt, sand and colloidal material from the rivers.



**Figure 1.** Mangrove study areas in Maranhão state, Brazil. A. Brazil, showing locality of study area (blue circle). B. The Rio Parnaíba delta region showing study localities in the municipalities of Água Doce do Maranhão and Araiões (blue circles), and main channel of the Rio Parnaíba (white dashes). C. Study areas in Água Doce do Maranhão, showing town streets at bottom right and the Rio Água Doce, a tidal igarapé: conserved = Mangueirão; regenerating = Ilhazinha or Salina. D. Study areas in Araiões, showing shoreline and associated dune field at top, partially blocking the Rio dos Poldros: regenerating = Ilha das Barreiras; conserved = Ilha dos Poldros. All images from Google Earth.

The study areas (Table 1), previously selected for a phytosociological survey (Nascimento, unpublished data), were situated about 30 km apart in two geographically different areas of the delta region, in the municipalities of Água Doce do Maranhão (henceforth shortened to "Água Doce") and Araiões. In each locality (Figs. 1C, 1D) two contrasting rectangular 1.2 ha sample sites were set out: an area regenerating from previous clearance for industrial salt-making, and a conserved area not known to have suffered significant human disturbance. All four mangrove areas are classified within the Rio Parnaíba APA as riparian forest (ICMBio 2020) following Lugo & Snedaker (1974). Local climate is very similar in each area (Correia Filho et al. 2011a, b): there is a well-marked dry season from June–July to December–January (mean monthly rainfall 1.5 – 70.9 mm), alternating with a rainy season (mean monthly rainfall above 224 mm); mean annual rainfall (1961 to 1990) is approximately 1,442 to 1,503 mm; mean annual temperature varies from 22.7°C to 31.6°C.

The town of Água Doce do Maranhão (municipal area 443 km<sup>2</sup>, population 12,571, IBGE 2020), lies at

the margin of the Tertiary continental surface (Fig. 1B; Lima & Leite 1978, Rodrigues et al. 1994) at an elevation of ca. 21 m above sea level on the right bank of the Rio Água Doce, a tidal creek within mangrove forest. Traditional fishing within the mangrove is a major economic activity of the town's population (Souza 2020) and the study area is easily accessible since Água Doce lies on the state road network and the forest begins at the town pier (Fig. 1C). The sampled areas were situated 200 m apart and about 400 m upstream from the town (Fig. 1C, Table 1) on Quaternary deltaic mud deposits and are affected by continental freshwater drainage during the rainy season. The regenerating forest area (Fig. 2B, Ilhazinha or Salina, 2° 49' 53.5" S, 42° 07' 6.0"W) had an overall median tree height of 7 m (IQR = 5 – 12 m, *n* = 166 trees) and is situated on the left bank of the Rio Água Doce. It has been recovering for 50 years from industrial salt production, although permanent deactivation only occurred 1993. The conserved area (Fig. 2A, Mangueirão, 2° 49' 55.1"S, 42° 07' 12.1"W) had an overall median tree height of 12 m (IQR = 10 – 16 m,

**Table 1.** Details of the seven populations of *Avicennia* defined *a priori* by location, disturbance level and vernacular name, with their scientific determinations.

Municipality	Locality	Latitude and Longitude	Human disturbance	Species	Defined population (sample size)	Vernacular form	Specimen vouchers*
Água Doce do Maranhão ( <i>n</i> = 270)	Ilhazinha or Salina ( <i>n</i> = 90)	2° 49' 53.5" S, 42° 07' 6.0"W	regenerating ( <i>n</i> = 90; <i>h</i> = 7 m; IQR = 5–12 m)	<i>schaueriana</i>	agSchReg ( <i>n</i> = 90)	<i>siriba branca</i>	MGPN** 754 to 783
	Mangueirão ( <i>n</i> = 180)	2° 49' 55.1"S, 42° 07' 12.1"W	conserved ( <i>n</i> = 180; <i>h</i> = 12 m; IQR = 10–16 m)	<i>schaueriana</i> <i>germinans</i>	agSchCon ( <i>n</i> = 90) agGerCon ( <i>n</i> = 90)	<i>siriba branca</i> <i>siriba preta</i>	MGPN 968 to 997 MGPN 1059 to 1088
Araiões ( <i>n</i> = 357)	Ilha das Barreiras ( <i>n</i> = 180)	2° 44' 9.04" S, 41° 52' 44.68"W	regenerating ( <i>n</i> = 180; <i>h</i> = 4 m; IQR = 3–6 m)	<i>germinans</i>	arGerBraReg ( <i>n</i> = 90)	<i>siriba branca</i>	MGPN 784 to 813
					arGerPreReg ( <i>n</i> = 90)	<i>siriba preta</i>	MGPN 814 to 843
	Ilha dos Poldros ( <i>n</i> = 177)	2° 44' 6.8" S, 41° 52' 2.9"W	conserved ( <i>n</i> = 177; <i>h</i> = 30 m; IQR = 30–35 m)	<i>schaueriana</i> <i>germinans</i>	arSchCon ( <i>n</i> = 90) arGerCon ( <i>n</i> = 87)	<i>siriba preta</i> <i>siriba branca</i>	MGPN 878 to 907 MGPN 1029 to 1058***

\* Deposited at HDELTA herbarium; \*\* MGPN = M.G.P. Nascimento; *n* = number of leaves sampled (3 per tree); *h* = median tree height within mangrove forest area (includes other genera); IQR = interquartile range of tree height (includes other genera); \*\*\* In the conserved area of Araiões, the leaves of MGPN 1046 of *A. germinans* were found to be distorted by galling and were not used



**Figure 2.** General aspect of mangrove forest in study areas. A. Água Doce do Maranhão, conserved area, median tree height 12 m. B. Água Doce do Maranhão, regenerating area, median height 7m. C. Araioses, regenerating area, median height 4 m. D. Araioses, conserved area, median height 30m, showing *Rhizophora mangle* L.

$n = 145$  trees) and is on the right bank and thus nearer the continental edge. This forest was not known to have been disturbed according to local informants.

The municipality of Araioses (municipal area 1,783 km<sup>2</sup>, population 46,440 people, IBGE 2017) lies at ca. 6 m above sea level. The two study areas in Araioses municipality, accessible only by boat or on foot, were situated on deltaic islands on either side of the Rio dos Poldros (Fig. 1D) where some areas of vegetated sand dunes also occur. The local population is sparse and the only settlement of any size is the village of Canárias, about 4.5 km distant in a straight line, which

has a population of about 1,700 people (Vieira, Putrick et al. 2014). The regenerating area (Fig. 2C, Ilha das Barreiras, 2° 44' 9.04" S, 41° 52' 44.68"W) had an overall median tree height of 4m (IQR = 3 – 6 m,  $n = 2,164$  trees) and lies on the west bank of the river. Until 23 years previously it had been used for salt extraction. The conserved area (Fig. 2D, Ilha dos Poldros, 2° 44' 6.8" S, 41° 52' 2.9"W) lies 1.3 km due east of the regenerating area. Here the mangrove forest was very tall, with a median tree height of 30 m (IQR = 30 – 35 m,  $n = 161$  trees) and appeared undisturbed by human action.

### Sampling for species determination and leaf morphometrics

The *Avicennia* species were observed in flower in both wet and dry seasons, in the months of February, May, and from October to December. In each of the four study areas, we collected leaves and flowering branches from thirty individuals of each vernacular group present (*siriba branca*, *siriba preta*). After identification we found that both species were present in each conserved area. However, in the two regenerating areas only a single species was present: in Água Doce the plants we determined as *A. schaueriana* were identified by our local informants as *siriba branca*, but in Araiões *A. germinans* was classified locally into both *siriba branca* and *siriba preta*. The samples were thus categorized into six species populations (three in each municipality), and seven vernacular populations (three in Água Doce and four in Araiões). We then used combinations of the four factors – species, geography, level of disturbance, vernacular group – to recognize seven populations for our comparative analyses (Table 1, "defined populations").

Due the difficulties moving through mangrove forest, sampling for leaves was carried out by systematically traversing each of the 1.2 ha study areas in parallel paths at 20 m intervals located perpendicular to the stream edge. Fertile trees were selected and identified by vernacular name by an experienced local informant. Criteria for sampled trees were: at least 2 m distance from others of the same vernacular group, in flower, absence of leaf galling or herbivore damage and otherwise healthy appearance. Three healthy, undistorted mature leaves were taken from each tree, each from a different shoot and selected from either the fourth, fifth or sixth nodes from the shoot apex, making a total sample of between 87 and 90 leaves for each defined population (Table 1). The leaves of one tree (SB\_1046, *A. germinans*, Araiões, conserved area) were later removed from the sample since there was undue distortion from insect galling.

Species determination was made from the flowering branches based on presence (*A. germinans*) or absence (*A. schaueriana*) of pubescence on the inner surface of the corolla; this proved to be the clearest distinguishing character of the flowers (Fig. 3). We used primarily the key to *Avicennia* published by Tomlinson (2016: 203–204), supported by reference to other taxonomic literature, specimens at the herbaria of the Federal University of Piauí, Teresina (TEPB) and the Federal University of the Parnaíba Delta, Parnaíba (HDELTA), and the online data base *speciesLink* (SpeciesLink 2020). Voucher herbarium specimens were prepared using standard field and herbarium procedures (Fidalgo & Bononi 1989) and deposited in the

HDELTA and TEPB herbaria. Scientific names and family classification followed Tropicos (2020) and APG IV (2016).

### Digitization of leaves

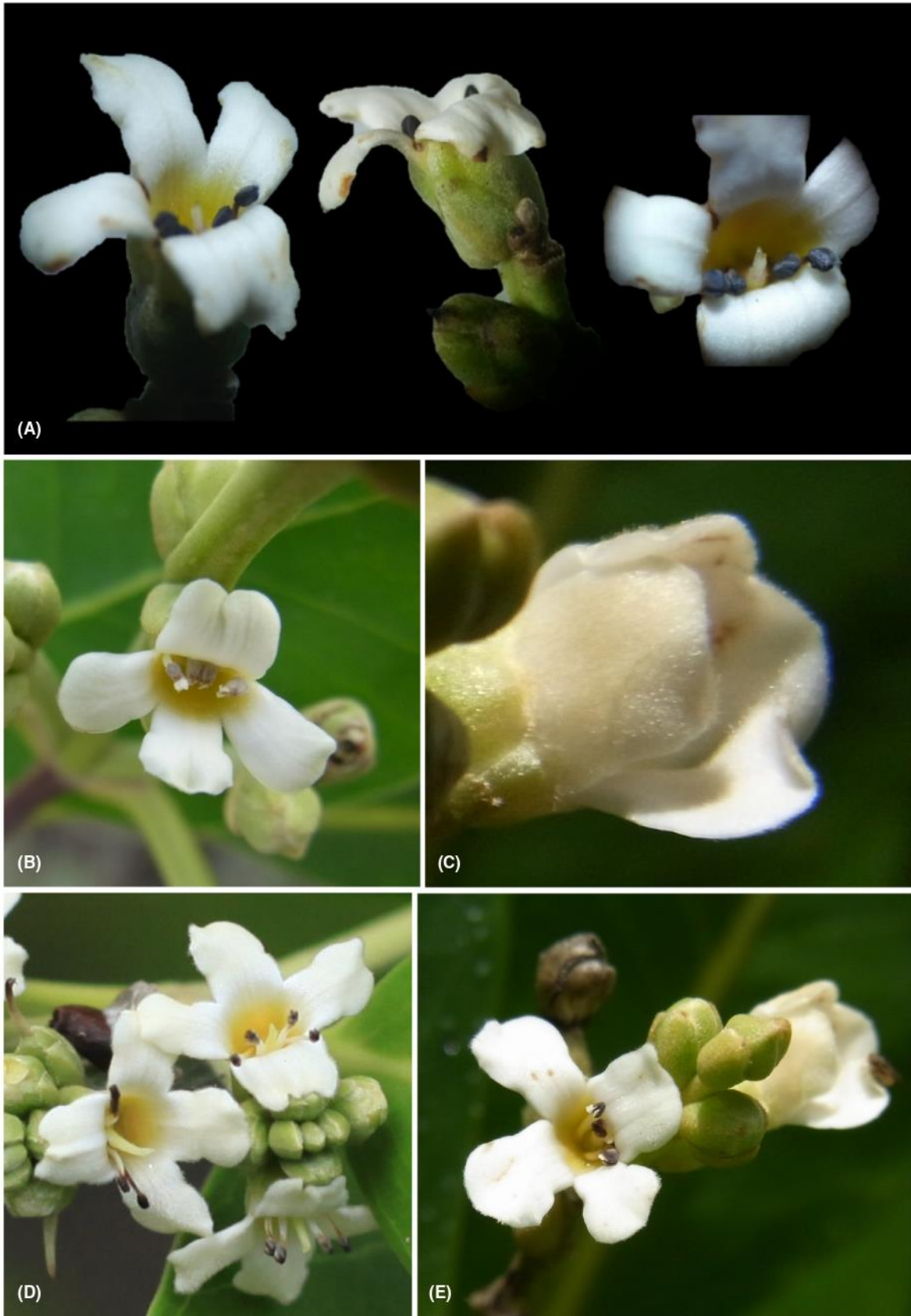
Images of the leaves including a ruler scale (cm and mm) were obtained with an EPSON Xp-401 model c462A scanner. To facilitate digitization, images were reduced to about 100 KB size and rotated with leaf tip facing left (Fig. SA2.1). The software tpsDig2 version 2.31 (Zelditch et al. 2012b, Rohlf 2013a) was then used to digitize the leaf outlines, recording the scale of each. Landmarks were placed the base and apex of the leaf blade and after erasing the petiole apex and thresholding the image the outline was digitized with 400 points (Fig. SA2.2). The landmark and outline data of each leaf were saved to a TPS file and all were then concatenated into a single file of 627 outlines with the software tpsUtil version 1.78 (Rohlf 2013b).

### Shape variables: elliptic Fourier coefficients

The file of leaf outlines was analysed using elliptic Fourier analysis (EFA, Monteiro & Reis 1999, Hammer & Harper 2006, Andrade et al. 2008, Claude 2008). The analysis was carried out using the Momocs package version 1.2.9 (Bonhomme et al. 2014) in R version 3.6.2 (R Core Team 2020) and RStudio version 1.0.153 (RStudio Team 2016). The 627 leaf outlines were aligned and normalized on the first two landmarks using the function "coo\_bookstein", which carried out Bookstein normalization (Andrade et al. 2008, Claude 2008), and reoriented the leaf outlines with their apex to the right (Fig. SA2.3). The function "calibrate\_harmonicpower" was used to compute the minimum number of harmonics (nine) needed to capture 99% of total variance. The elliptic Fourier analysis was carried out using the function "efourier" with the arguments "norm=FALSE" and "start=TRUE" and resulted in a matrix in which each leaf was described by a vector of 36 Fourier coefficients (four per harmonic).

### Shape variables: principal component shape variables

Shape variables, as principal components, were obtained from the Fourier coefficient matrix by principal component analysis of the Fourier coefficient matrix (PCA, Claude 2008) using the Momocs function "PCA". Graphics illustrating the range of variation of the shape variables (PCs) and ordinations of the PCs were obtained within Momocs using the "PCcontrib" and "plot" functions respectively.



**Figure 3.** Details of floral morphology in *Avicennia schaueriana* and *A. germinans*. A – B: Open flowers of *A. schaueriana* showing glabrous inner corolla surface and barely projecting style and stamens. C: Opening flower of *A. germinans* showing pubescence of internal surface. D – E: Open flowers of *A. germinans* showing more conspicuous projection of styles and stamens and pubescence on inner corolla surface.

**Table 2.** Analyses used to compare the leaf shapes of the sampled individuals, based on the seven defined populations of *Avicennia*.

Analysis	Description	Subset of individuals	Groups compared	Categorical variable
Analysis 1	compare the two species with all individuals pooled	all individuals	<b>[agGerCon + arGerBraReg + arGerPreReg + arGerCon]</b> vs. [agSchReg + agSchCon + arSchCon]	scientific species ( <i>A. germinans</i> / <i>A. schaueriana</i> )
Analysis 2A	compare the two species in the conserved areas of each municipality	all individuals in Água Doce conserved area	<b>agGerCon</b> vs. agSchCon	scientific species ( <i>A. germinans</i> / <i>A. schaueriana</i> )
Analysis 2B		all individuals in Araiões conserved areas	<b>arGerCon</b> vs. arSchCon	scientific species ( <i>A. germinans</i> / <i>A. schaueriana</i> )
Analysis 3A	compare conserved and regenerating areas within each species	all individuals of <i>A. schaueriana</i> in Água Doce municipality	<b>agSchCon</b> vs. agSchReg	conservation status (conserved/regenerating)
Analysis 3B		all individuals of <i>A. germinans</i> in Araiões municipality	<b>arGerCon</b> vs. [arGerBraReg + arGerPreReg]	conservation status (conserved/regenerating)
Analysis 4A	compare conserved areas of Água Doce and Araiões within each species	all individuals of <i>A. schaueriana</i> from conserved areas	<b>agSchCon</b> vs. arSchCon	conserved areas of municipalities (Água Doce/Araiões)
Analysis 4B		all individuals of <i>A. germinans</i> from conserved areas	<b>agGerCon</b> vs. arGerCon	conserved areas of municipalities (Água Doce/Araiões)
Analysis 5A	compare vernacular forms of <i>A. germinans</i> in Araiões	all individuals of <i>A. germinans</i> in conserved and regenerating areas	<b>[arGerBraReg + arGerCon]</b> vs. arGerPreReg	vernacular forms ( <i>siriba branca</i> / <i>siriba preta</i> )
Analysis 5B	compare vernacular forms of <i>A. germinans</i> in Araiões regenerating area	all individuals of <i>A. germinans</i> in regenerating area	<b>arGerBraReg</b> vs. arGerPreReg	vernacular forms ( <i>siriba branca</i> / <i>siriba preta</i> )
Analysis 6	compare the two municipalities	all individuals	<b>[agSchReg + agSchCon + agGerCon]</b> vs. [arGerBraReg + arGerPreReg + arSchCon + arGerCon]	municipalities (Água Doce/Araiões)
Analysis 7	compare the conserved and regenerating areas	all individuals	<b>[agSchCon + agGerCon + arSchCon + arGerCon]</b> vs. [agSchReg + arGerBraReg + arGerPreReg]	conservation status (conserved/regenerating)
Analysis 8	compare the seven defined populations	all individuals	agSchReg vs. agSchCon vs. agGerCon vs. arGerBraReg vs. arGerPreReg vs. arSchCon vs. arGerCon	defined populations (see Table 1)

The subsequent analyses addressed the study aims listed at the end of the introduction. These were carried out in R using a data frame of the scores from the first ten PCs, combined with the four factors that described the seven defined populations (Table 1). The essential features of these analyses are presented in Table 2. All except Analysis 8 consisted of two-category analyses in which the categories were composed of one or more of the seven defined populations. Analyses 1 and 2 compared the two species with one another, globally (Analysis 1) and within each conserved area (Analysis 2A: Água Doce, 2B: Araioses). Analyses 3, 4 and 5 were within-species comparisons. In Analysis 3 the conserved and regenerating populations within each species were compared (3A: *A. schaueriana* at Água Doce, 3B: *A. germinans* at Araioses). In Analysis 4, the conserved areas of each municipality were compared for each species (4A: *A. schaueriana*, 4B: *A. germinans*). In Analysis 5 the two vernacular groups (*siriba branca*, *siriba preta*) of the populations of *A. germinans* were compared. Analysis 6 and 7 were global comparisons, by geography (6: municipality) and by level of disturbance (7: conserved vs. regenerating). Analysis 8 compared the seven defined populations.

For each numbered analysis, the first six PCs were plotted and tested parametrically and non-parametrically as univariate variables for normality, homogeneity of variances, and equality of means and medians. We analysed the data from all 90 leaves of each defined population, rather than the mean values of the 30 individual trees sampled. Our justification for ignoring the pseudoreplication thus involved is that we preserved a wider range of variation in comparing the categories of each analysis and therefore a greater range of leaf shape overlap between them. Since overlap was estimated by percentage correct assignment in a non-parametric KNN cross-validation, no inferential statistics were involved. From a taxonomic perspective the extent of overlap is the most important criterion influencing identification, particularly under field conditions where individual leaves are used to attempt diagnosis.

For each analysis (Table 2), a comparison of the range of leaf shape within each group was obtained by the following procedure. The 10%, 50% (median) and 90% quantiles of variables PC1 and PC3 were computed in R and used as the coordinates of nine points within the two-dimensional space defined by these two shape variables, corresponding to the combinations (top left to bottom right by columns, x-axis: PC1, y-axis PC3): 10%-90%, 10%-50%, 10%-10%, 50%-90%, 50%-50%, 50%-10%, 90%-

90%, 90%-50%, 90%-10%. The individual leaves closest to these nine points were located algorithmically (Fig. SA2.4) and their outlines were then plotted using function "ggplot" (R package ggplot2, Wickham 2016). The resulting shape range comparison showed the reconstructed outlines of leaves from a range bounded approximately by the 10% and 90% quartiles with the median shape in the centre (e.g. Fig. 8). The resulting plots provide a more direct visual impression of the range of leaf shape variation within each compared group, themselves different combinations of the original seven populations (Table 2, column "Groups compared").

A non-parametric classification method, k-nearest-neighbor analysis (KNN), was used to make a quantitative estimate of the discrimination of the categories used in the different analyses (Varmuza & Filzmoser 2009, James et al. 2013). KNN analysis was carried out using the "knn.cv" function in the R package *class* (Ripley & Venables 2020). With this function, each leaf was selected in turn to be classified into one of the predetermined categories of the analysis (e.g. the two species). Its *k* nearest neighbours – determined by Euclidean distance based on a matrix of the first ten PC shape variables – were then found among the remaining leaves. The test leaf was assigned to the category to which the majority of its *k* neighbours belonged. The success of each analysis is measured by the proportion of incorrect assignments of the 627 leaves to their categories (species, levels of disturbance, geographical location, defined populations). Before running each analysis, the optimal number of neighbours to be considered (*k*, the neighbourhood) was found for each analysis by testing a range of values of *k* ( $k = 1$  to  $k = 100$ ) using cross-validation, and selecting the *k* number which resulted in the lowest number of incorrect assignments. For each analysis, bootstrap resampling tests were used to compute the probability of the observed percentage of incorrect assignments under the null hypothesis of no difference between the categories; the data frame was sampled with replacement using the same sample sizes, the cross-validated KNN analysis was run for the same *k* number as used originally, and the percentage incorrect assignments computed; this cycle was repeated 999 times, and the range of percentage values between the 0.1% and 99.9% quartiles was computed.

### Size analysis

Leaf size was computed using the Momocs functions *coo.cent\_size*, *coo.length*, *coo.width* and *coo.area* for

**Figure 4.** Leaf variation in *Avicennia schaueriana* and *A. germinans* in the seven defined populations. Three leaves from one tree in each population are shown. Populations: Top row = agSchReg, agSchCon, arSchCon. Bottom row = arGerBraReg, arGerPreReg, agGerCon, arGerCon. See Table 1 for explanation of these codes.



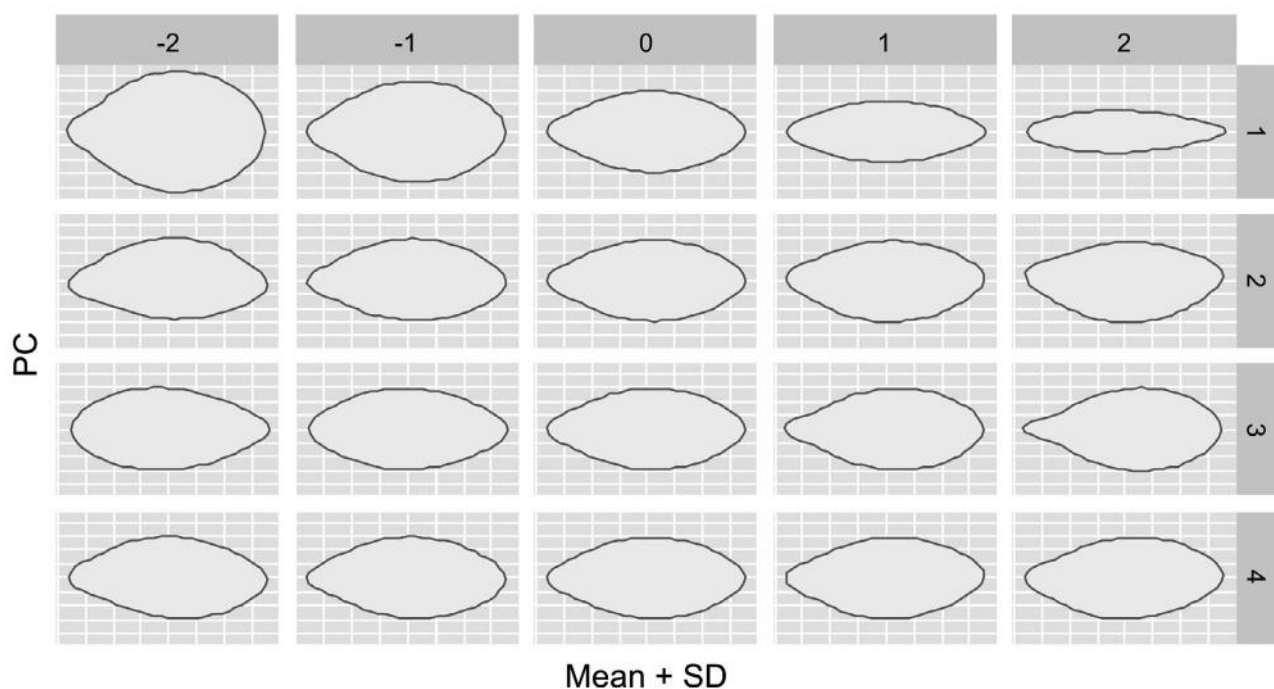


**Table 3.** Eigenvalues of each principal component leaf shape variable shown as proportions of total variance and the symmetry relations of the trends of shape variation expressed by each variable, in pooled individuals from seven populations of *Avicennia*.

shape variable	eigenvalues as % of total variance	cumulative eigenvalues as % of total variance	symmetry of shape variable
PC1	79.342	79.342	symmetric
PC2	11.377	90.719	asymmetric
PC3	5.186	95.905	symmetric
PC4	1.155	97.061	asymmetric
PC5	0.991	98.052	symmetric
PC6	0.836	98.887	asymmetric
PC7	0.337	99.225	symmetric

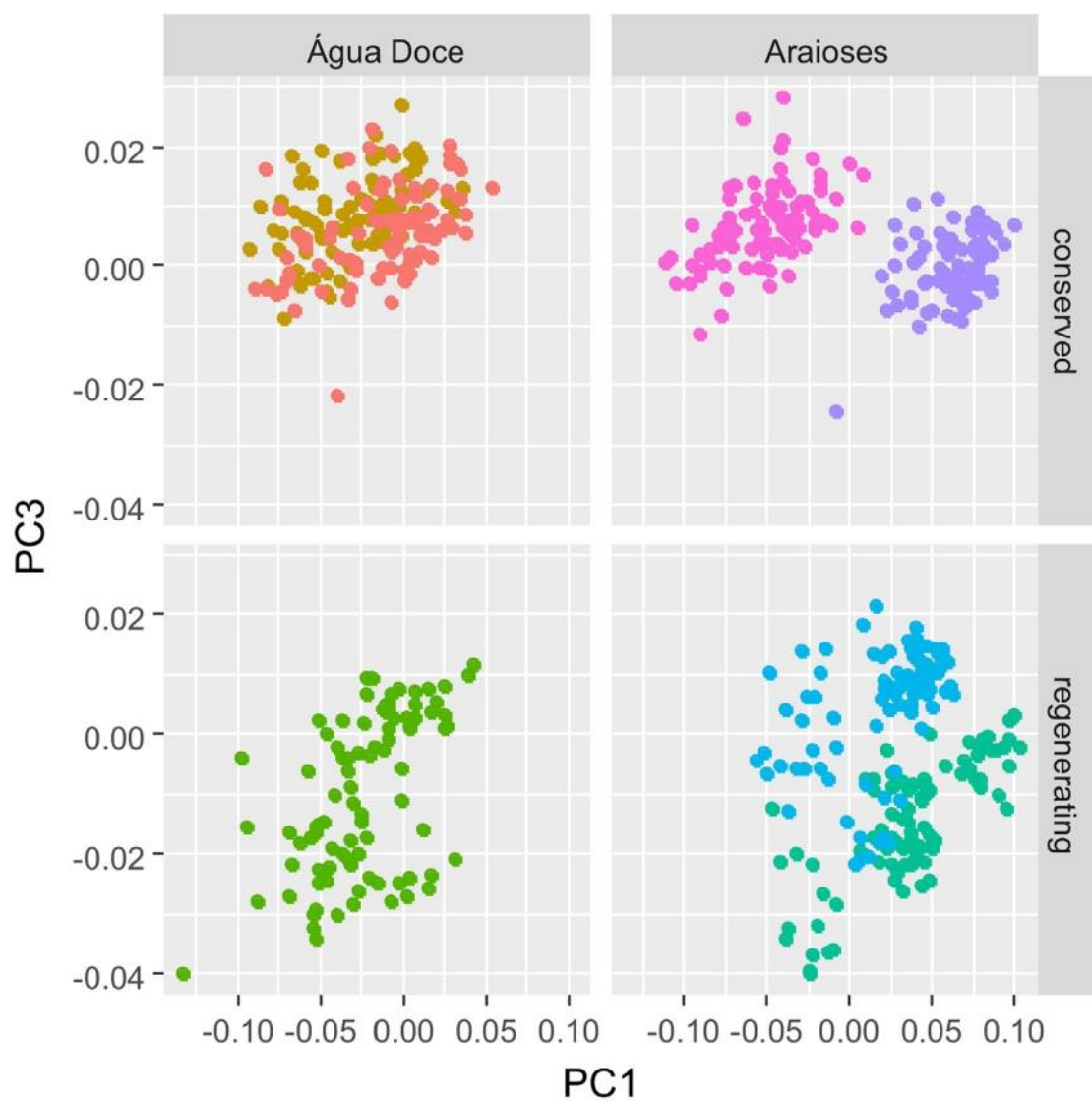
all leaves, based on the scale values captured with TpsDig during digitization. The covariation of these four size variables (centroid size, leaf length, leaf width, leaf area) with shape variables PC1, PC2 and PC3 was computed for all leaves. Correlation of PC1 and PC3 with centroid size was computed for all categories of the eight models. The difference in leaf size between the categories of each model was tested with Wilcoxon's nonparametric test for two groups and the Kruskal-Wallis test for more than two groups.

Additional methodological details of the morphometric analyses including figures and tables are provided in Supplementary Appendices 1, 2 and 3. Scripts of the R computations can be obtained from the second (corresponding) author and will be posted with the data sets on the BIONOSET Scratchpad website (<http://bio.noiset.myspecies.info/>).



**Figure 5.** Shape trends of the first four principal components of an analysis of all 627 *Avicennia* leaf outlines, expressed as the mean shape (column 0) and the shapes corresponding to the PC values at  $\pm 1$  and  $\pm 2$  standard deviations on each side of the mean shape. PCs 1 and 3 are symmetric shape variation trends and PCs 2 and 4 asymmetric. The leaf apex lies on the right hand side of each outline.

**Figure 6.** Ordination of shape variables PC1 and PC3 of an analysis of all 627 *Avicennia* leaf outlines, showing the seven defined populations of *Avicennia*. Upper left figure shows the two species in the conserved area of Água Doce; upper right the two species in the conserved area of Araioses. Lower left shows *A. schaueriana* in regenerating area of Água Doce; lower right the two vernacular populations of *A. germinans* (*siriba branca* and *siriba preta*) in the regenerating area of Araioses. See Table 1 for further explanation.



## seven defined populations

- *A. germinans*, *siriba preta*
- *A. schaueriana*, *siriba branca*
- *A. schaueriana*, *siriba branca*
- *A. germinans*, *siriba branca*
- *A. germinans*, *siriba preta*
- *A. germinans*, *siriba branca*
- *A. schaueriana*, *siriba preta*

**Table 4.** Analysis 1. Comparison of leaf shape variables between *Avicennia germinans* ( $n = 357$ ) and *A. schaueriana* ( $n = 270$ ); pooled data from all individuals.

Shape variable	Percentage of total variance	Shape variable symmetry	Normal distribution <sup>1</sup>	Homogeneity of variances <sup>2</sup>	Significance of species difference <sup>3</sup>
PC1	79.34	symmetric	no	no	$p < 2.2e-16^{***}$
PC2	11.38	asymmetric	no	yes	$p = 0.2572$ ns
PC3	5.19	symmetric	no	yes	$p = 9.985e-05^{***}$
PC4	1.16	asymmetric	no	yes	$p = 0.03302^*$
PC5	0.99	symmetric	no	no	$p = 7.018e-10^{***}$
PC6	0.81	asymmetric	yes	no	$p = 0.07587$ ns
PC7	0.34	symmetric	no	yes	$p = 0.0004746^{***}$

<sup>1</sup> Shapiro-Wilk test. <sup>2</sup> Fligner-Killeen (non-parametric) and Bartlett (parametric) tests. <sup>3</sup> Kruskal-Wallis (non-parametric) and ANOVA (parametric) tests; if both normal distribution and homogeneity of variances hold, the parametric test is reported, otherwise the non-parametric test is shown. ns = not significant. \*  $p \geq 0.01$  and  $< 0.05$ . \*\*  $p \geq 0.001$  and  $< 0.01$ . \*\*\*  $p < 0.001$ .

### 3. Results

#### Species and vernacular names

The identification of the plants using scientific taxa was not consistent with the local vernacular classification. The population of *A. germinans* in the regenerating area at Araiões was divided by the local informant into both vernacular forms, *siriba branca* and *siriba preta*. In the two conserved areas, the vernacular names were used in opposite senses: *siriba branca* corresponded to *A. schaueriana* in Água Doce but to *A. germinans* in Araiões, and vice versa for *siriba preta* (Table 1, Fig. 4).

#### Overall variation in leaf shape

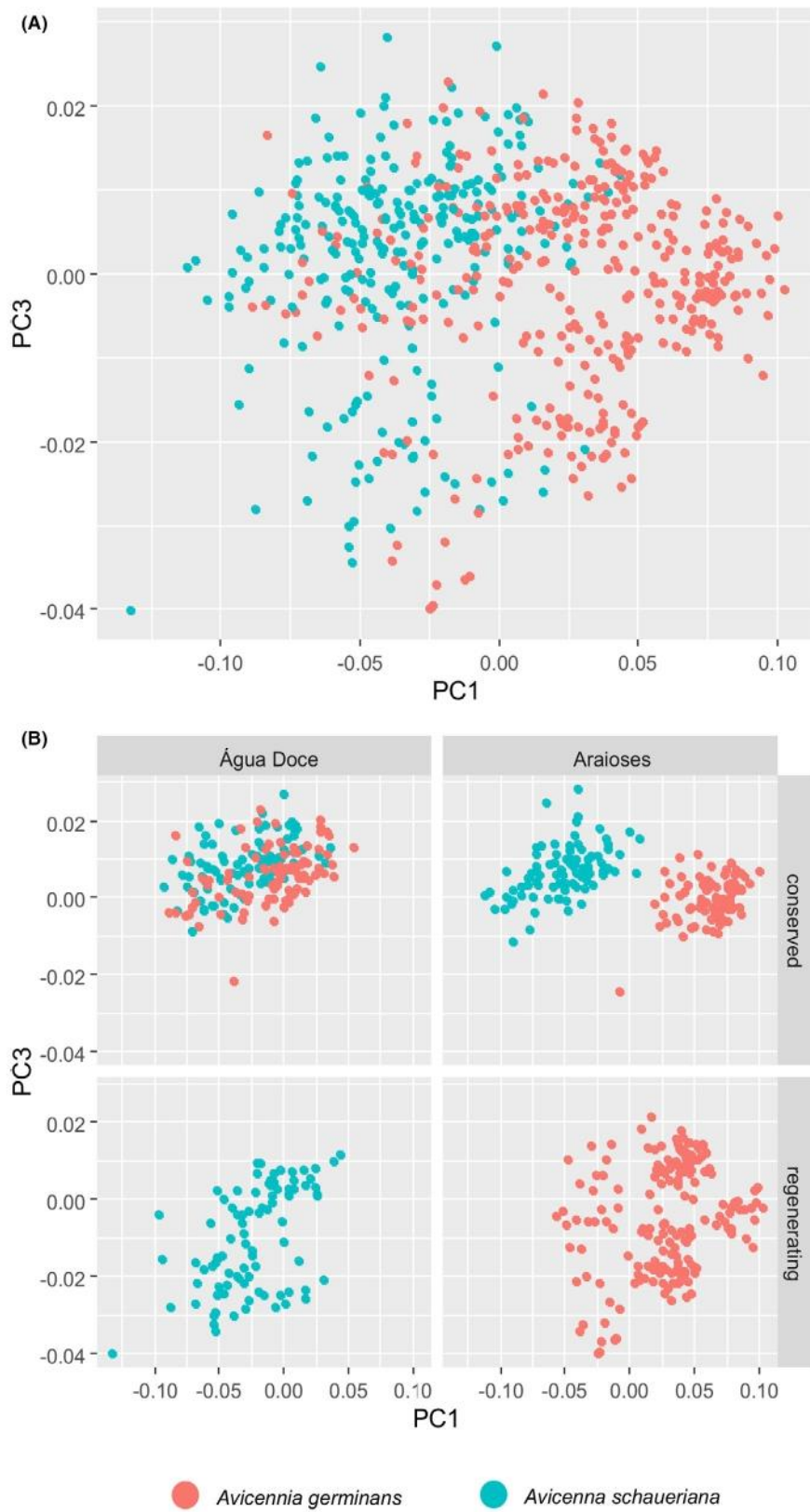
The principal component analysis of the elliptic Fourier coefficient matrix explained more than 95% of total variation in the first three principal components (PC shape variables), and over 99% in the first seven (Table 3). The ensuing analyses thus used only the scores on the first seven PCs and focussed mainly on the first three. The first four PCs show the most important shape trends (Fig. 5) – odd-numbered PCs expressed symmetric shape variation and even-numbered PCs expressed asymmetric variation (see Fig. SA2.5 for the first seven PCs).

The most important variable (PC1, 79.34% of total variation) combined change in relative width from wide to narrow with accompanying shape change at the extremities: at the base from slightly acuminate to subacute and at the apex from rounded to acute. In PC2 (11.38% of variation), the major asymmetric variable, the mean shape is bilaterally symmetric, but as values increase negatively or positively the leaf becomes more asymmetric on one side. PC3 (5.19% of variation, Fig. 5) expressed change in leaf centre of gravity (ovateness, Pontes et al. 2019) from ovate (negative values) to obovate (positive values), accompanied by change from rounded to acuminate leaf base. The remaining PCs expressed much less distinct shape changes, which accounted for only 4.1% of the variation in the data set.

Variation within and between the seven populations was considerable. A superficial idea of this variation is given in Fig. 4, which shows images of the three fresh leaves from a single individual of each population. The distribution of the seven populations within the space of the major symmetric shape variables (PCs 1 and 3) is shown in Fig. 6, where they are separated into four plots for clarity and in Fig. SA2.19 together in a single plot (ordinations on the first three PCs of the whole undifferentiated data set are given in Fig. SA2.6).

The symmetric shape variables were in general more important in differentiating the species (Table 4) and the

**Figure 7.** Analysis 1. Ordination of symmetric shape variables PC1 (79.3% of total variance) and PC3 (5.19%) of an analysis of all 627 *Avicennia* leaf outlines. Colours indicate the two species: germina = *Avicennia germinans* (sample  $n = 357$ ); schauer = *A. schaueriana* (sample  $n = 270$ ). A: All individuals shown in single plot. B: Individuals plotted separately according to geographical location (Água Doce, Araiões municipalities) and degree of disturbance of mangrove vegetation (conserved, regenerating).



other categories in the numbered analyses described below. When only symmetric variables were used in the KNN analyses (Table SA3.11), the percentage incorrect assignments mostly decreased, which suggests that the asymmetric variables tended to confound the patterns of differentiation. Further details are given in Tables SA3.1 to SA3.10 and Figs. SA2.7 to SA2.20.

### Between species: Analysis 1

This general comparison of the species showed a continuum of shape variation (Fig. 7). *Avicennia germinans* varies more widely along the PC1 axis (relative width) than *A. schaueriana*; individuals of *A. germinans* are scattered across most of the shape space of *A. schaueriana* but the converse is not true. Nevertheless, *A. schaueriana* predominates in the negative PC1 values and *A. germinans* in the positive values. There is little apparent difference in the spread of PC3 values. The median shape of *A. schaueriana* is relatively broader with an acuminate leaf base and in *A. germinans* relatively narrower with an acute base (Fig. 8A, B, central outlines). The typical appearance of the leaves of the two species as recorded by taxonomists is shown by comparing lower PC1 values of *A. schaueriana* with higher values in *A. germinans* (Fig. 8A extreme left column, Fig. 8B extreme right): *A. schaueriana* has broadly obovate leaves with a shortly acuminate base and smoothly rounded apex, and *A. germinans* has narrowly elliptic to ovate leaves with acute to rounded base and acute-acuminate apex. Between these most characteristic shapes, the two species are difficult to distinguish.

Univariate tests showed that the species differed strongly in the symmetric variables (Table 4, Fig. SA2.7) but not or hardly so in asymmetric variables. In particular, asymmetric shape variable PC2, although accounting for 11.38% of total variance, showed no significant difference. Discrimination by KNN analysis found 15.8% incorrect assignments (Table SA3.11), well below the lowest value (41.0%) expected under a null hypothesis of no difference (Fig. 10).

### Between species: Analysis 2

Comparison of the two species within each conserved area showed a strong contrast (Fig. 7B, top row) due mainly to different degrees of variation in the leaf shape of *A. germinans* (compare Fig. 8C, E and Fig. 8D, F). In

Água Doce (Analysis 2A) the two species overlapped considerably in both PC1 and PC3 (Fig. 7B, upper left, Fig. 8C, D). KNN analysis reflected this overlap with 20.6% incorrect assignments (Fig. 10, Table SA3.11), higher than in Analysis 1, but still significantly below the bootstrapped 0.1% quartile value of 37.2% (Fig. 10). Univariate tests showed significant differences in both variables (Table SA3.1, Fig. SA2.8).

In contrast, the two species at Araioses (Analysis 2B) showed almost complete separation along the PC1 axis and some in PC3 (Fig. 7B, upper right); visual comparison showed a clear difference with no overlap (Fig. 8E, F). KNN discrimination found only 0.56% incorrect assignments, very different from the 37.3% bootstrapped 0.1% quartile value (Fig. 10). Univariate tests showed highly significant differences in variables PC1 and PC3 but no significant difference in any other (Table SA3.2, Fig. SA2.9).

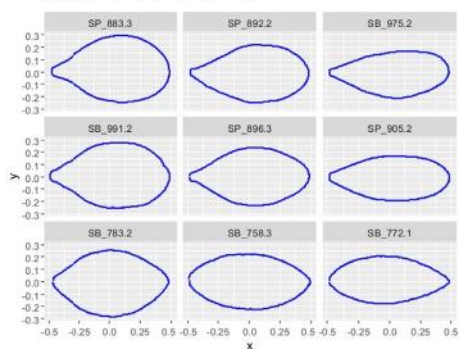
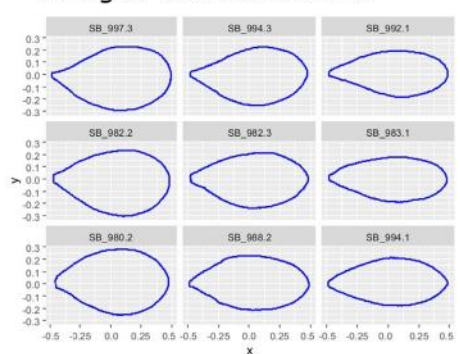
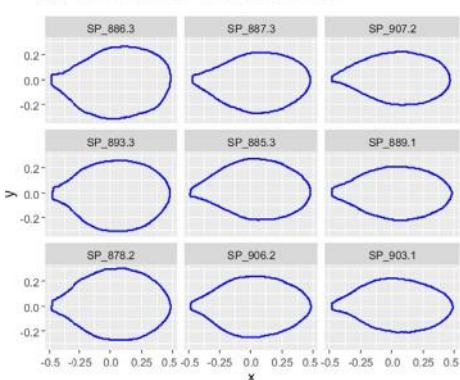
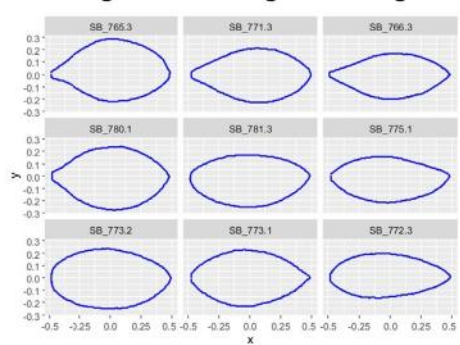
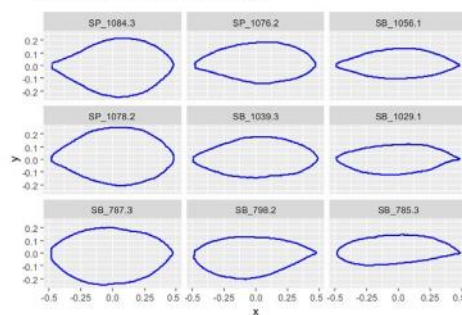
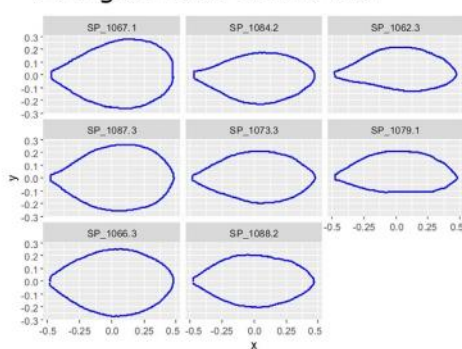
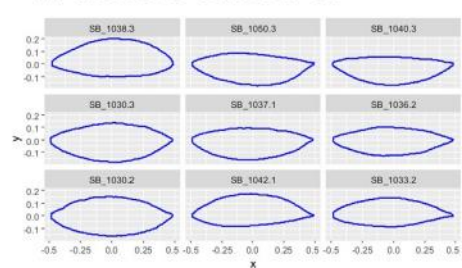
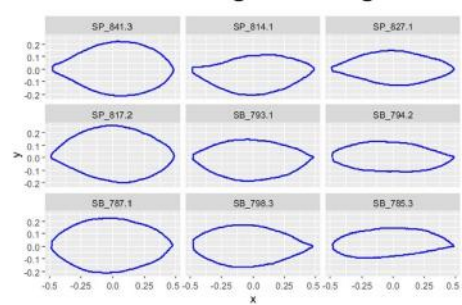
### Within species: Analyses 3 and 4

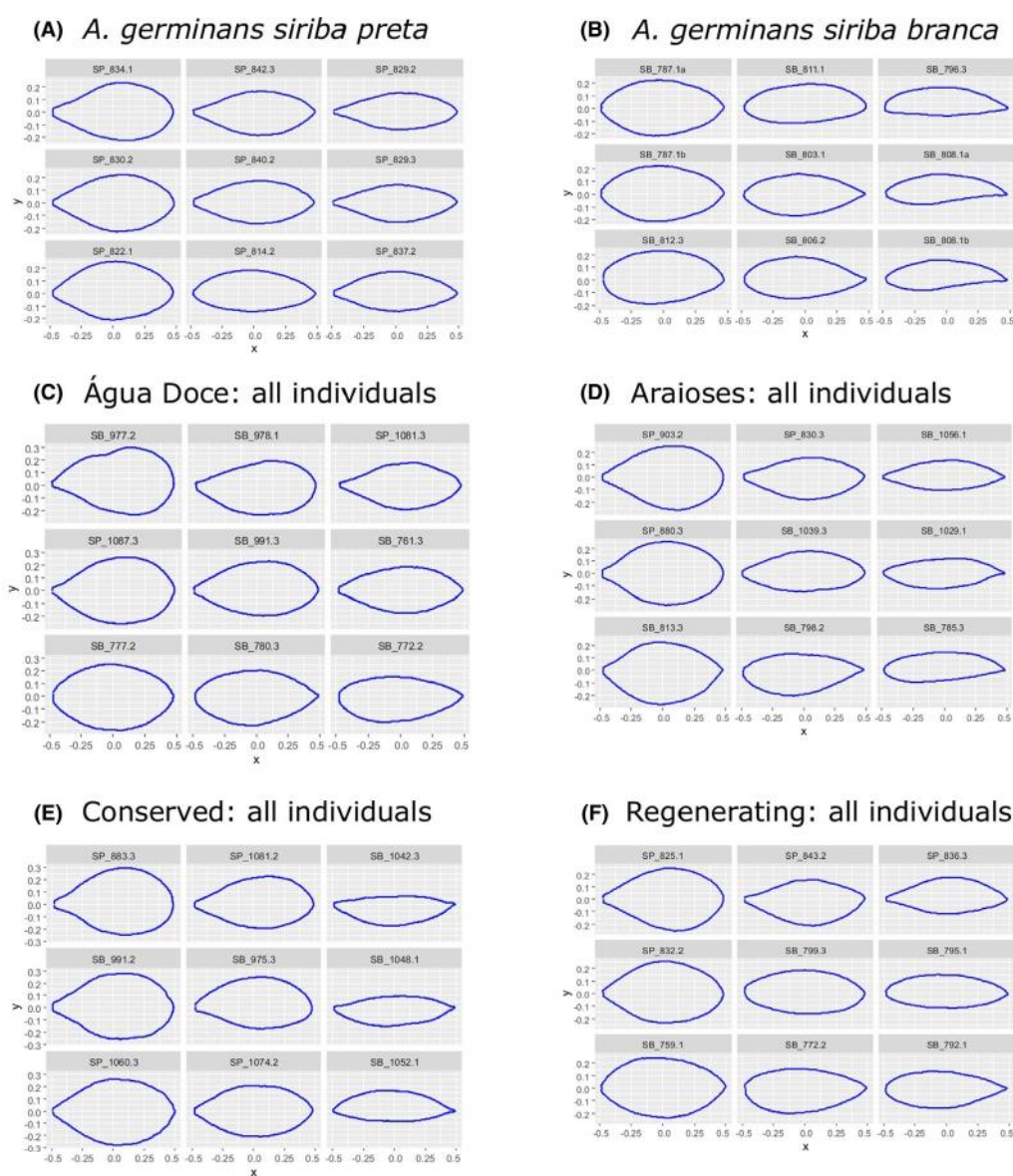
Analysis 3 compared degrees of human disturbance (conserved vs. regenerating forest) within each species and Analysis 4 compared geographical location (Água Doce vs. Araioses). The two species exhibited different patterns of variation in regard to these factors, but the leaves of regenerating populations in both tended to be more ovate (compare Figs. 8C and 8G for *A. schaueriana*; Figs. 8F and 8H for *A. germinans*).

### *Avicennia schaueriana*: Analysis 3A

The populations of conserved and regenerating areas differed primarily in PC3 shape, i.e. "ovateness" (Fig. 11A and 11B, Table SA3.3, Fig. SA2.10). Individuals from the conserved area were more often obovate with acuminate bases (Fig. 8C), whereas the regenerating population had more elliptic to ovate leaves and a wider range of variation (Fig. 8G). Asymmetric variation (PC2) was also significantly different in the regenerating population (Figs. 11B, SA2.10, Table SA3.3), while PC1 was only just significantly different. Overall, KNN discrimination found 11.7% incorrect assignments, well below the 37.2% bootstrapped 0.1% quartile value (Fig. 10). The different variability in the two areas was reflected by good KNN performance (5.6% incorrect) for the conserved area but less so (17.8% incorrect) for the regenerating area (Table SA3.11).

**Figure 8.** Leaf shape ranges of categories of *Avicennia* compared. Analysis 1: A vs. B. Analysis 2A: C vs. D. Analysis 2B: E vs. F. Analysis 3A: C vs. G. Analysis 3B: F vs. H. Analysis 4A: C vs. E. Analysis 4B: D vs. F. Each set of outlines represents the range of shapes between the 10% and 90% quartiles in the PC1 (x-axis) and PC3 (y-axis) shape space. See Methods and Table 2 for further details. Individual leaf codes shown above each outline.

***Avicennia schaueriana*****(A) All individuals****(C) Água Doce conserved****(E) Araioses conserved****(G) Água Doce regenerating*****Avicennia germinans*****(B) All individuals****(D) Água Doce conserved****(F) Araioses conserved****(H) Araioses regenerating**



**Figure 9.** Leaf shape ranges of categories of *Avicennia* compared. Analysis 5B: A (arGerPreReg) vs. B (arGerBraReg). Analysis 6: C vs. D. Analysis 7: E vs. F. See legend of Fig. 8 for other details.

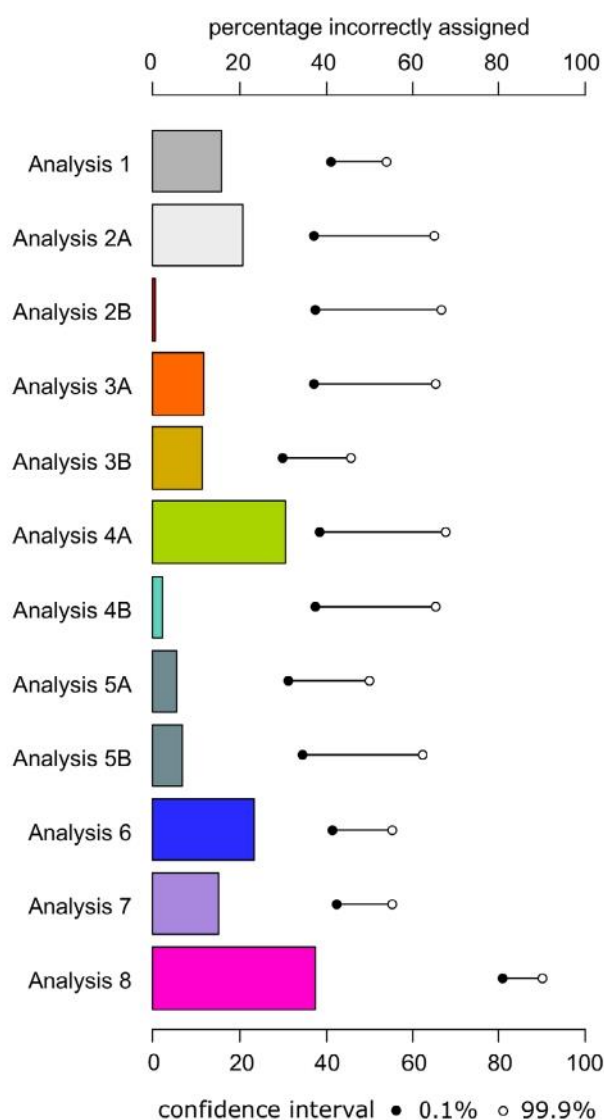
### *Avicennia schaueriana*: Analysis 4A

*Avicennia schaueriana* differed little geographically between Água Doce and Araiozes (conserved areas. Fig. 8C, E). The Água Doce leaves were slightly but significantly narrower (higher values along the PC1 axis, Fig. 12, Table SA3.5, Fig. SA2.11), but the weakness of this difference was also shown in the high number of KNN incorrect assignments, 30.6%, closer to the bootstrapped 0.1% quartile value than in other analyses (Fig. 10, Table SA3.11).

### *Avicennia germinans*: Analysis 3B

In this species the variation of the conserved population was completely included within that of the two regenerating populations (Fig. SA2.12), but its range was much narrower in both PC1 and PC3 (Fig. 7B red dots in right column, Fig. 8F, H). In contrast to *A. schaueriana*, the major univariate statistical difference was in PC1 and there was no significant difference in asymmetric shape variation (Table SA3.4, Fig. SA2.13). The KNN analysis found 11.2% incorrect assignments,





**Figure 10.** Non-parametric classification of leaves of seven populations of *Avicennia* using k-nearest-neighbor analysis (KNN) with jackknife cross-validation. Results of separate analyses. Coloured and grey bar lengths represent percentage incorrect assignments of leaves in each analysis (see Table 2 for details). Confidence intervals represent the percentage values of the 0.1% (black dot) and 99.9% (white dot) quartiles of a 999-replicate bootstrap test of the null hypothesis of no difference between the categories tested (see Methods for details). Based on a matrix of the first five symmetric shape variables (PC1, PC3, PC5, PC7, PC9). Further details in supplementary Table SA3.11).

well below the 30.0% bootstrapped 0.1% quartile value (Fig. 10). There was lower percentage incorrect assignment in the regenerating area (7.8%, Table SA3.11), probably because of the larger sample size ( $n = 180$  vs

$n = 87$ ) and wider range of shape variation (Fig. SA2.12).

#### ***Avicennia germinans*: Analysis 4B**

There was a clear difference between the two geographical populations of *A. germinans* in conserved areas (Figs. 8D, F, Fig. 13) expressed primarily by significant differences in PC1 and PC3 (Fig. SA2.14, Table SA3.6), but also in asymmetric variables PC2 and PC4. The leaves at Araiões were mostly narrowly elliptic to narrowly ovate while those at Água Doce were broadly obovate to elliptic. KNN discrimination was successful, with only 2.3% of incorrect assignments, well below the 37.3% bootstrapped 0.1% quartile value (Fig. 10, Table SA3.11).

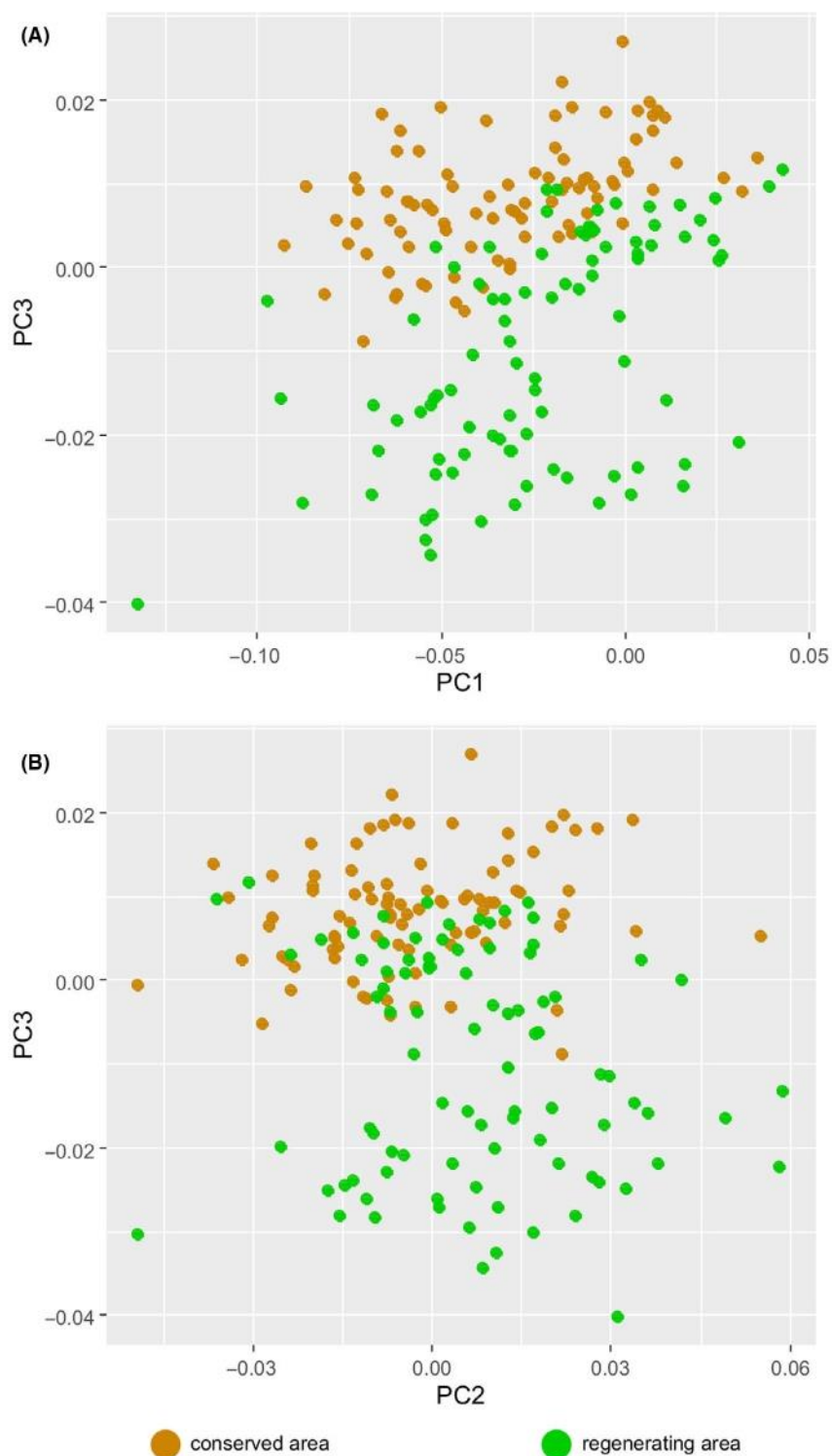
#### **Within *A. germinans*, vernacular forms: Analysis 5**

Two forms, *siriba branca* and *siriba preta*, were recognized by local informants in the Araiões regenerating area. These proved to have distinct leaf shapes (Analysis 5B). *Siriba preta* tended somewhat towards general *A. schaueriana* shape and *siriba branca* towards *A. germinans* (compare Figs. 9A with 8A, and Fig. 9B with 8B, respectively). The leaves vary considerably in relative width in both vernacular groups, from rather broad to narrow.

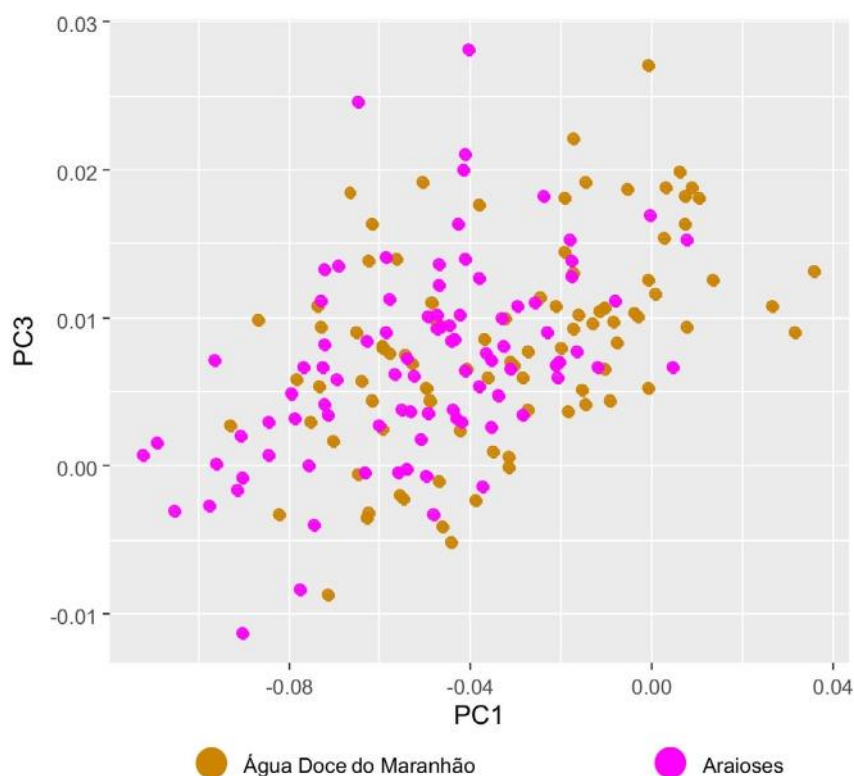
The ordination showed substantial but not complete separation between them (Fig. 6 lower right, Fig. SA2.15A). *Siriba preta* leaves are obovate to elliptic with obtuse to acute tips and usually somewhat acuminate leaf bases (Fig. 9A). *Siriba branca* ranges from elliptic to ovate, more commonly the latter, with subacute to narrowly acute or even acuminate leaf tips and rounded to subacute leaf bases (Fig. 9B). Univariate tests showed the greatest distinction in PC3 (ovateness) (Table SA3.7, Fig. SA2.16A). KNN analysis showed low levels of incorrect assignment, 5.6% when the conserved area *siriba branca* individuals were included (Analysis 5A), and 6.7% within only the regenerating area (Analysis 5B); both these values were well below the bootstrapped 0.1% quartiles (Fig. 10, Table SA3.11). In Analysis 5A (Fig. SA2.15B), PC1 (relative width) played a larger discriminatory role (Fig. SA2.16B).

#### **Between localities: Analysis 6**

When all leaves were compared by geography alone (municipalities: Água Doce,  $n = 270$ ; Araiões,  $n = 357$ ), there was substantial overlap, but the two categories could be distinguished to some extent by relative width, shown in Fig. 9C-D and by the significantly different PC1 variable (Table SA3.8, Fig. SA2.17). The geographical difference is due to *A. germinans*, which has relatively narrower leaves (higher PC1 values) in Araiões than in Água Doce



**Figure 11.** Model 3A. Populations of *Avicennia schaueriana* in Água Doce municipality. Ordination of shape variables: A: PC1 and PC3. B: PC2 and PC3. Colours indicate conservation status: brown = conserved (sample  $n = 90$ ); green = regenerating (sample  $n = 90$ ). See Tables 1 and 2 for further details.



**Figure 12.** Model 4A. Populations of *Avicennia schaueriana* in conserved areas of Água Doce and Araiões municipalities. Ordination of shape variables PC1 and PC3. Colours indicate municipalities: brown = Água Doce (sample  $n = 90$ ); magenta = Araiões (sample  $n = 90$ ). See Tables 1 and 2 for further details.

(Figs. 7B, 8D, F). KNN discrimination was weak with 23.3% incorrect assignments, compared to 41.5% for the bootstrapped 0.1% quartile (Fig. 10, Table SA3.11).

#### Human disturbance levels: Analysis 7

Comparison of all leaves from the conserved ( $n = 357$ ) and regenerating ( $n = 270$ ) areas showed that their range of relative width (PC1) is similar (Fig. 6, compare upper and lower rows), but most leaves with negative values of PC3 are from regenerating areas, i.e. elliptic and ovate leaves with obtuse to rounded bases are more prevalent in regenerating areas (compare Figs. 9E and 9F). This is reflected by the strong difference between the categories in PC3 (Table SA3.9, Fig. SA2.18). The KNN discrimination was better than for geography (Analysis 6) with 15.2% incorrect assignments, compared to 42.4% for the bootstrapped 0.1% quartile. Fewer incorrect assignments were found for leaves from conserved (9.5%) than regenerating areas (22.6%) (Fig. 10, Table SA3.11).

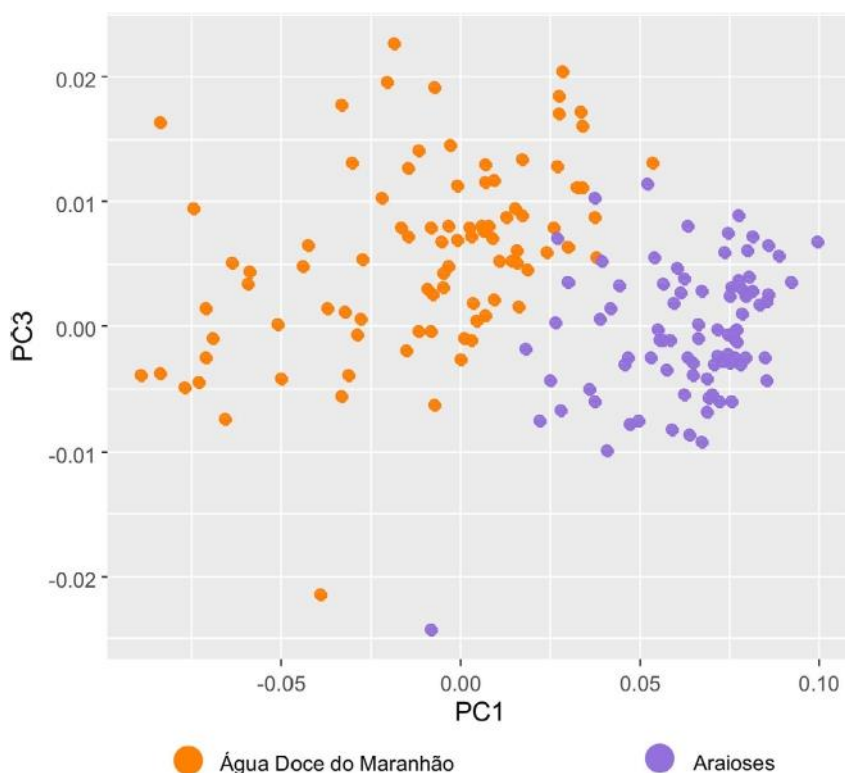
#### Seven defined populations: Analysis 8

The ordinations of the seven defined populations in the same PC1-PC3 shape space are shown divided into

four panels in Fig. 6 and all together in Fig. SA2.19 and express differences in density, relative positions and amplitude of variation. All shape variables were significantly different in at least one pair of populations (Table SA3.10, Fig. SA2.20). Overall KNN discrimination was low, with 37.3% incorrect assignments, but the four Araiões populations were more distinct (16.1% - 35.6% incorrect) than those of Água Doce (45.6% - 52.2% incorrect) (Fig. 10, Table SA3.11).

#### Size relationships

The two species differed significantly in leaf size (centroid size), *A. schaueriana* being consistently smaller overall (Fig. 14A, Analysis 1 in Table SA3.12) and in the conserved areas (Analyses 2A and 2B). Combining size with shape did not improve overall discrimination between the species (not shown), but the greatest between-species differences (Fig. 15, Fig. SA2.21) were observed in the conserved area of Araiões (Fig. 14B), the area with the tallest and most mature mangrove forest (Fig. 2D, Table 1, Araiões conserved, median height 30 m). Leaf size comparisons between analysis categories are shown in Fig. SA2.22 and Table SA3.12.



**Figure 13.** Model 4B. Populations of *Avicennia germinans* in conserved areas of Água Doce and Araiões municipalities. Ordination of shape variables PC1 and PC3. Colours indicate municipalities: orange = Água Doce (sample  $n = 90$ ); violet = Araiões (sample  $n = 87$ ). See Tables 1 and 2 for further details.

*Avicennia schaueriana* showed no significant difference in leaf size between conserved and regenerating areas in Água Doce nor between conserved areas in Água Doce and Araiões (Analyses 3A and 4A, Table SA3.12). In *A. germinans*, however, leaves in the regenerating area of Araiões were significantly smaller, as were those of the Água Doce conserved area (Analyses 3B, 4B, Table SA3.12). In the Araiões regenerating area, leaves of *siriba preta* were significantly smaller than *siriba branca* (Analysis 5A).

Correlations between size and shape were observed in both species but were different in character. The strongest effects were observed in the Água Doce conserved area population of *A. schaueriana* (Table 5), which displayed significant negative correlations between centroid size and the shape variables PC1 and PC3 (Fig. 15A, B, top left figures, blue dots); i.e. with increasing size the leaves become relatively broader and more ovate. On the other hand, the Água Doce conserved population of *A. germinans* showed no change in relative width with size, but larger leaves showed a significant trend to be more ovate (Table 5, Fig. 15A, B, top left figures, red dots).

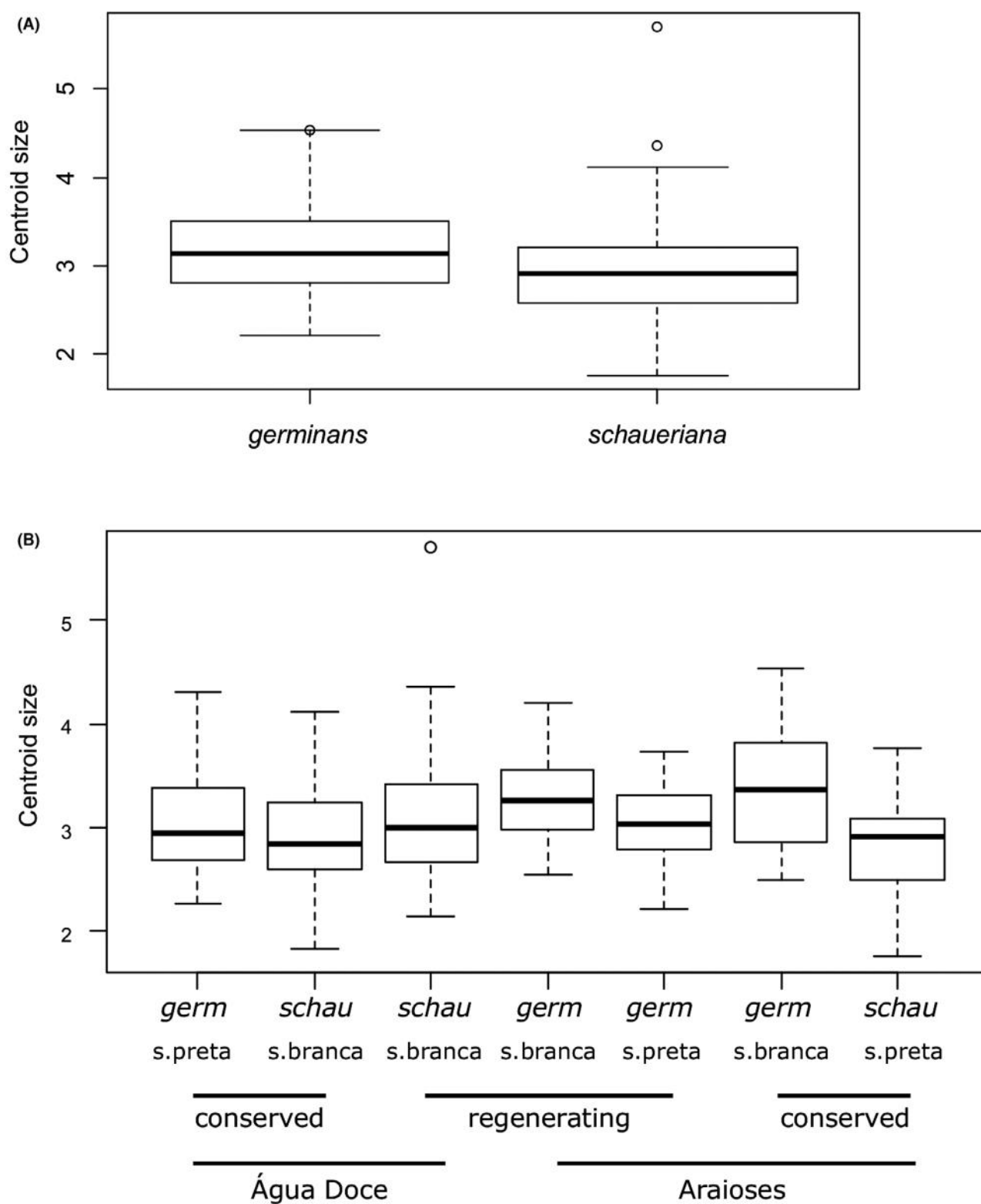
In the conserved area of Araiões, *A. germinans* showed no correlation between size and PC1 but a

significant negative size correlation with PC3 (Table 5); i.e. the leaves become significantly more ovate with size (Fig. 15B, top right figure, red dots). *A. schaueriana*, on the other hand, showed a weak positive correlation with PC1 (Table 5), i.e. a tendency to become relatively narrower with size (Fig. 15A, top right figure, blue dots), but no correlation in PC3 (Fig. 15B top right figure, blue dots).

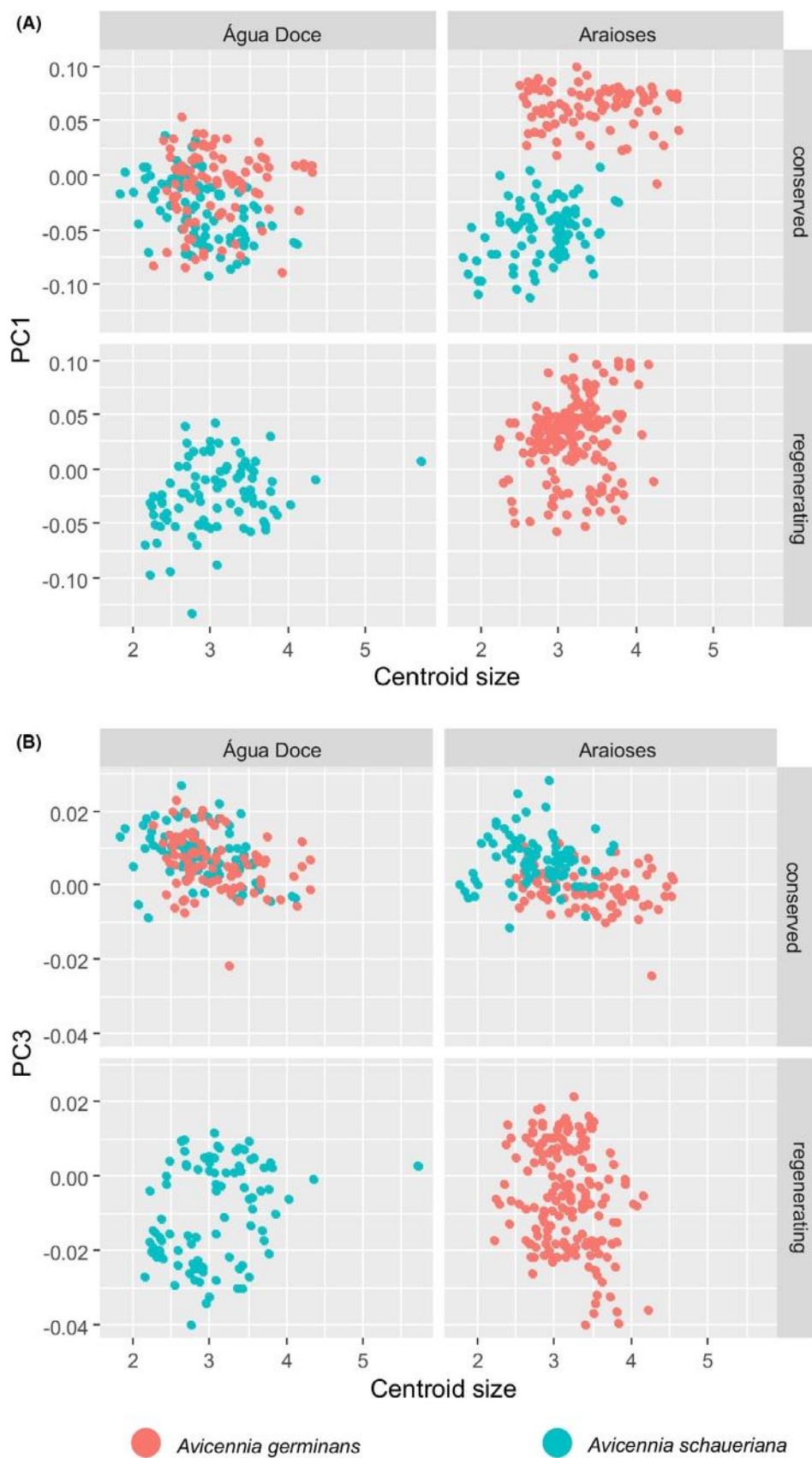
In the regenerating area of Água Doce, *A. schaueriana* showed a weak positive correlation in both PC1 and PC3 (Table 5): i.e. larger leaves become relatively narrower and more obovate (Fig. 15A, B, bottom left figures, blue dots). In the regenerating area of Araiões, *A. germinans* showed no correlation (Table 5, Fig. 15A, B, bottom right figures, red dots).

#### 4. Discussion

Testing the diagnostic value of any single character, such as leaf shape, requires the prior determination of the species based on other diagnostic criteria that have already been shown to be efficacious. We used a single floral character, and although this can be justified by reference to previous taxonomies, it must be regarded as essentially a temporary expedient. For unless the



**Figure 14.** Comparison of leaf size ranges (centroid size). A. Analysis 1. Overall comparison of *Avicennia germinans* ( $n = 357$ ) and *A. schaueriana* ( $n = 270$ ). B. Analysis 8. Comparison of the seven defined populations. *germ*: *A. germinans*. *schau*: *A. schaueriana*. See Table 1 for population details and sample sizes.



**Figure 15.** Correlation of size (centroid size) and shape variables. A: shape variable PC1. B: shape variable PC3. Red dots: *Avicennia germinans*. Blue dots: *A. schaueriana*.

variability of all the characters used for species diagnosis has been established in detail, there is no really satisfactory basis for testing any single one; logically this situation involves an infinite regress of assumptions. The validity of the two-group categorization represented by the species *A. germinans* and *A. schaueriana* is based on classical taxonomic descriptive techniques, and in the absence of any alternative must be accepted as a premise if other investigations are to be carried out. Duke's (1990, 1991) studies of the *A. marina* complex show, however, that a more robust approach is possible, based on a judicious and well-designed multivariate morphometric analysis (Marcus 1990, Remagnino et al. 2017), which generates a testable group structure (i.e. species taxa) based on a range of characters approximating that used by taxonomists, as well as others which experience suggests should be included. Since Duke's studies, further methodological improvements have become available in the shape of reproducible research techniques (e.g. RStudio and RMarkdown), by means of which the precise computational procedures and the data set itself can be downloaded, tested, modified and augmented by other researchers. The recent molecular characterization of *A. germinans* and *A. schaueriana* by Mori (2013) and Mori et al. (2015a, 2015b) and their discovery of associated complex intraspecific genetic variation is a key step forward because of the potential of molecular

data to provide an independent means of carrying out a more sophisticated test of the classical taxonomic species delimitation. But for a such a comparison to be rigorous, the assembly and analysis of a broadly based morphological data set is required and this would be a highly desirable future research goal.

In this study the species were determined on the presence or absence of pubescence on the adaxial surface of the corolla lobes because we found that other floral characters were less straightforward to use, e.g. style and stamen length necessitate comparison of flowers at the same stage of maturity and corolla zygomorphy is more difficult to quantify and evaluate in herbarium material. We did not quantitatively investigate the variability of any other taxonomic characters, either reproductive or vegetative. In his multivariate analyses, however, Duke (1990) used measurements and measurement ratios of leaf blade, petiole, flower, calyx and fruit and qualitative variables of leaf apex shape, inflorescence type, calyx lobe margin, pericarp surface, radicle surface, stigma position and propagule shape. He also compared data sets for shade leaves, sun leaves and different intertidal positions for each site, and sampled at different geographical scales that contrasted variation across the Australasian continents and within a single major river estuary. This carefully designed analysis provided the basis for his subsequent formal

**Table 5.** Correlation of size (centroid size) and shape (PC1 and PC3) in leaves of *Avicennia germinans* and *A. schaueriana*, as expressed in the seven defined populations. Comparisons indicated by x.

defined population	population code	centroid size	PC1	PC3	Spearman's rho	p value
Água Doce <i>schaueriana</i> regenerating	agSchReg	x	x		0.248	0.019*
		x		x	0.267	0.011*
Água Doce <i>schaueriana</i> , conserved	agSchCon	x	x		−0.464	0.000***
		x		x	−0.404	0.000***
Água Doce <i>germinans</i> , conserved	agGerCon	x	x		0.068	0.526 n.s.
		x		x	−0.288	0.006**
Araioses <i>germinans</i> , regenerating Siriba Branca	arGerBraReg	x	x		0.170	0.108 n.s.
		x		x	−0.024	0.825 n.s.
Araioses <i>germinans</i> , regenerating Siriba Preta	arGerPreReg	x	x		0.116	0.277 n.s.
		x		x	0.069	0.521 n.s.
Araioses <i>schaueriana</i> , conserved	arSchCon	x	x		0.262	0.013*
		x		x	−0.106	0.318 n.s.
Araioses <i>germinans</i> , conserved	arGerCon	x	x		−0.097	0.374 n.s.
		x		x	−0.288	0.007**

taxonomic revision (Duke 1991) which is also noteworthy for the thorough presentation of the characters used and the carefully standardized figures showing the diagnostic characters of each species. The value of such foundational taxonomic studies for other researchers can hardly be overestimated, since almost all studies on mangrove biodiversity are based ultimately on the underlying species taxonomy and necessitate accurate identification. The present study highlights the need for such investigations in the species of the western hemisphere.

The advantages of morphometric approaches lie in their power to make morphological data available in a way that permits their analysis either in parallel or integrated with other kinds of data sets, which may be genetic, environmental or physiological. Conventionally and in practice, species taxa of angiosperm trees are based in the first place on morphological descriptions, representing a combination of vegetative and reproductive characters (Davis & Heywood 1963, Stuessy 2009), and these are typologies derived by a semi-intuitive process (Cullen 1968). Multivariate morphometric analysis is the appropriate method to model these taxon descriptions for computational comparison with groups generated by other data, particularly DNA markers. Combining morphometric and molecular genetic data can provide an integrated view of species and population delimitations which provides a more robust and transparent basis for analysis of the variation of individual traits such as leaf shape, area, floral variation, within and between the taxonomic groups and in relation to other patterns. Geometric morphometrics offers great potential for such investigations. In regard to environmental factors, this approach could be applied to studies of leaf plasticity and fluctuating asymmetry (Klingenberg 2015) in mangrove species, recently investigated in relation to environmental stresses such as human disturbance and herbivory (Maldonado-López et al. 2019). In regard to genetics, the population structure revealed by the studies of Mori et al. (2015a) provides a promising framework for comparing the shape of leaves or other morphological structures of the different groups revealed by DNA patterns. Hybridization is another area in which multivariate morphometrics of a wide range of taxonomic characters could be fruitfully deployed together with geometric morphometrics of leaf shape and molecular markers; Mori et al. (2015a, b) recently demonstrated the existence of hybridization between *A. germinans* and *A. schaueriana* using DNA markers and consequently were able to investigate the phylogeography of the taxa. Morphometric analysis could test groups founded on molecular patterns, track the variation of both vegetative and floral characters, and verify the existence of intermediate morphological states that suggest the presence of hybrids. This would be potentially useful for field recognition.

There are some shortcomings of our analytical approach, which include the limitations of EFA and

reliance on outline shape alone to capture observed variation in the leaves. Elliptic Fourier analysis numerically prioritises differences in overall shape rather than the more detailed features of apex and base shape, although the latter appear to be relatively more influential in taxonomists' visual perception (Remagnino et al. 2017, chapter 5). This can be mitigated by using landmark and semilandmark techniques (Klingenberg 2011, Zelditch et al. 2012a, b, Dryden and Mardia 2016), for which there is a wider range of literature and online analytical tools available than for outline techniques (Viscosi and Cardini 2011 provide a good introduction). Visual perception of differences is also affected by texture, colour, pubescence, margin characteristics and venation patterns. The inclusion of other easily observed vegetative characters in future morphometric analyses is therefore an important consideration in characterizing the species more completely and consequently in facilitating reliable field identifications.

One of the strengths of geometric techniques is the ease with which symmetric and asymmetric shape variation can be segregated from one another. Our study showed that symmetric shape variables (PCs 1 and 3) are the major discriminants in most comparisons made, and these can be inferred have a primarily genetic basis. Elliptic Fourier studies of leaves based on germplasm collections of various plant species (Furuta et al. 1995, Iwata et al. 2002, Yoshioka et al. 2004) have shown that symmetric variables reflect genetically controlled leaf shape differences more strongly than asymmetric ones. Elliptic Fourier analysis has been used previously to study mangrove leaf shapes by Coronado et al. (2008), who investigated variation in *Ceriops tagal* (Perr.) C.B.Rob. (Rhizophoraceae) in the Philippines. In contrast to our approach, they carried out PCAs of symmetric and asymmetric Fourier coefficients in separate matrices. However their results were similar to ours in that the major symmetric PCs corresponded to differences in leaf aspect ratio and base shape, whereas the major asymmetric PC appeared to express fluctuating asymmetry and thus developmental instability. The study by Robot et al. (2018) measured and compared leaf size parameters (length, width, area, perimeter) in two populations of *A. marina* but without commenting in detail on symmetry-asymmetry relationships.

We compared only a limited number of areas, representing simple binary contrasts of geographical position and level of human disturbance. This reflected the essentially taxonomic aims of the study, which sought to estimate how well the two species could be discriminated by leaf shape alone. An ecologically-focussed study would require greater replication (Quinn & Keough 2002) of sampled areas and include quantitative estimates of factors such as salinity, substrate type, soil characteristics, evidence of human interference, local



microclimate, tidal flow, etc. Our approach was nevertheless sufficient to show a degree of leaf shape variability so wide and overlapping as to confound between-species discrimination in all but tall, mature, undisturbed mangrove forest. Our study shows a wider range of leaf shape than previously reported. Schauer's early descriptions (Schauer 1851) correspond fairly well to the shapes we observed in tall conserved mangrove forest at Araiões (Fig. 8E, F). Tomlinson's illustrations of leaf variation in *A. germinans* from Costa Rica and Florida (Tomlinson 2016: 197) agree better with the shapes displayed in other areas (e.g. Fig. 9A, B). For most authors, *A. germinans* has obtusely-tipped leaves, but we observed a significant proportion of leaves with sharply acute to acuminate tips in conserved and regenerating populations at Araiões. The leaf shapes described by the various taxonomic treatments consulted thus do not capture the full variety of forms observed in just this single river delta region. There could be various explanations for this, including regional taxonomic differences within each species, hybridization, and complex patterns of plasticity related to ecological and genetic heterogeneity within large mangrove regions, as demonstrated for coastal Brazil by Mori et al. (2015a, b).

Our results suggest that leaf shape is more plastic with changing conditions of growth in *A. germinans* than in *A. schaueriana*. Regenerating or shorter trees of *A. germinans* tend to have smaller and more obovate leaves with obtuse to rounded tips. Soto and Corrales (1987) reported comparable leaf shape and size variation in Pacific coastal populations of *A. germinans* in relation to aridity and salinity. In less saline conditions and higher and less seasonal rainfall, the trees were taller and leaves were larger and predominantly elliptic with acute tips. With higher salinity, associated with drier climate, trees were shorter and leaves tended to be smaller with a higher proportion of obovate or obovate-elliptic shapes and more obtuse tips. Further complexity in the interpretation of leaf morphological variation in *Avicennia* is suggested by a recent genetic study: Cruz et al. (2020) showed that populations of *A. germinans* along the north coast of Brazil exhibit genetic differences associated with variation in rainfall and freshwater input from rivers (affecting salinity levels) and they interpreted these as responses due to natural selection. At a greater geographical scale, Cruz et al. (2019) reported that seedlings of *A. schaueriana* from the tropical northern coast of Brazil with strongly seasonal rainfall had smaller leaves than those from less seasonal subtropical regions along the eastern Atlantic coast, in addition to other morpho-physiological and genetic differences. They interpreted this as evidence of greater water stress in the tropical populations. This suggests that both phylogenetic and reaction norm responses (Schlichting & Pigliucci 1998) could be involved in leaf shape and size variation

within and between climatic regions. Geometric morphometric techniques would be appropriate tools to investigate this further.

Another line of enquiry facilitated by morphometrics is allometric variation (see Viscosi 2015 for an example). We did not make this a focus of our study. As regards size differences alone, we were able to show that overall, *A. schaueriana* has smaller leaves than *A. germinans* (as measured by centroid size), that size differences between the species were greatest in tall conserved forest, and that *A. schaueriana* had a more restricted range of size variation than *A. germinans* overall. Allometric trends, on the other hand were less easy to infer. There were correlations of shape and size in both species, as detailed earlier; these suggested that the shape and size of the leaves of the two species tend to become more similar with more disturbance and with lower stature of the forest. There is clearly scope for more detailed morphometric investigations of allometry that compare leaf shape with plant size and age and ecological factors.

Vernacular names and their application clearly require separate ethnobotanical studies. At present, all that can be said is that using local names as a substitute for scientific taxa can be misleading, even within the same locality. However, our study showed that vernacular taxa were correlated with significant leaf shape differences both within a single species (Analysis 5) and between species. There is also a wider range of vernacular names than those we encountered in our study. In Maranhão, where both species have been recorded previously (Flora do Brasil 2020), Meireles et al. (2018) reported that *A. germinans* has the vernacular names *mangue-preto*, *siriba* or *sereiba*, *mangue-siriba* or *mangue-canoé*; it is used for fishing equipment, house and boat construction and charcoal production (Meireles 2012, 2016, Meireles et al. 2017). In the areas where our study was carried out, the vernacular names *siriba branca* and *siriba preta* were employed in opposite senses in the two municipalities, our informants being from different communities in each case. Furthermore, despite the proximity of our Araiões study locality to that of Meireles, the vernacular names he reported for *A. germinans* did not include *siriba branca*. There is clearly a lack of uniformity, even locally, in application of these vernacular names to the entities recognized by us as taxonomic species, but our study also shows that in any single locality the vernacular names corresponded to morphotypes with leaf shapes that were more or less distinct. It is very likely that other morphological characters are involved in the vernacular taxonomy used by local people and this would be a worthwhile line of future investigation. Moldenke (1960) gives lists of vernacular names deriving from various languages for *A. germinans* and *A. schaueriana* and in both species these include descriptive terms referring to their white or black quality,

among many other names. For example, *A. germinans* may be called *mangue-branco* (white mangrove) or *mangue negro* (black mangrove), while *A. schaueriana* is listed as *ciriba preta* (black siriba) or *mangue branco* (white mangrove).

## 5. Conclusions

In the studied populations of *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* the leaves of the two species are significantly different in both shape and size, but substantial overlap makes individual determination unreliable from leaves alone. The leaf shape difference between the species was most discrete in the least disturbed and tallest stands of mangrove forest. Between-species differences were expressed primarily by variation in relative leaf width (aspect ratio) and associated leaf base and apex shape.

Leaf shape appears to vary more widely within *A. germinans* than in *A. schaueriana*. Within-species differences in leaf shape between conserved areas at the sampled locations were expressed mainly by change in relative leaf width. In contrast, within-species shape differences between conserved and regenerating areas at one location were observed mainly as change in the leaf centre of gravity (variation from ovate to obovate).

The two species show no consistent overall behaviour in the correlation of shape and size. *Avicennia schaueriana* showed differing trends depending on geographical location and level of disturbance. In *A. germinans* the leaves became more ovate with increasing size, but only in conserved areas, and there was no correlation with relative width. Detailed studies of leaf allometry would be desirable.

Reliance on leaf shape in the determination of *A. germinans* and *A. schaueriana* may introduce lack of clarity in their reported geographical ranges (Tomlinson 2016: 211). Mori et al.'s (2015a, b) studies are probably the most reliable in this regard since these authors tracked the species ranges with molecular data and showed *A. germinans* reaching the delta of the Rio Paraíba do Sul in Rio de Janeiro state and *A. schaueriana* further south as far as Laguna in Santa Catarina state. Duke (1995), Dodd et al. (2000) and Daniel (2016) reported similar ranges for *A. schaueriana* and *A. germinans*. Profice et al. (2020), however, recorded *A. germinans* as far south as Paraná state.

Multivariate morphometric studies at different geographical scales from continental to local populations are needed which include both reproductive and vegetative characters. These could provide a more reliable basis for species determination in *A. germinans* and *A. schaueriana* and support integrative studies that combine morphological, ecological and molecular genetic data.

Geometric morphometrics of leaves and other organs could be usefully applied as an additional research tool

in combination with molecular data for research on mangrove tree species, particularly in population genetics, life history studies and ecological investigations.

Detailed ethnotaxonomic investigations are needed to determine the range of characters used by local people to recognize vernacular taxa of *Avicennia*.

*The authors thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for financial support in the form of a PhD grant for the first author, without which the study could not have been carried out. We also thank the Universidade Federal do Piauí (Teresina) and the Universidade Federal do Delta do Parnaíba (Parnaíba) for support and facilities. We acknowledge the authorization of this research by the Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (ICMBio-SISBIO). We are very grateful to the following people for their essential support and major contributions to our field studies and for sharing their expert local knowledge with us: Sr. Raimundo Nonato de Souza Silva (Sr. Raimundinho) from Parnaíba, Sr. Vicente de Paulo Cirilo (Paulão) from the Ilha das Barreras and Sr. Francisco Rodrigues (Sr. Chico), from the town of Água Doce do Maranhão. We thank the fishing community of Água Doce do Maranhão, especially Sr. Edino, who accompanied us on field trips and helped in making the collections. We are also grateful to Dr Vincent Bonhomme for help with the use of his Momocs analytical package for elliptic Fourier analysis. S. Mayo thanks the Royal Botanic Gardens Kew for logistical support. We thank the anonymous reviewers for their valuable comments on an earlier version of this paper.*

## References

- Affe, H. M. J.; Menezes, M. & Nunes, J. M. C. 2018: Microphytoplankton in a tropical oligotrophic estuarine system: spatial variations and tidal cycles. – *Brazilian Journal of Botany* **41**: 337–349. <https://doi.org/10.1007/s40415-018-0447-y>.
- Andrade, I. M.; Mayo, S. J.; Kirkup, D. & van den Berg, C. 2008: Comparative morphology of populations of *Monstera* Schott (Araceae) from natural forest fragments in Northeast Brazil using elliptic Fourier Analysis of leaf outlines. – *Kew Bulletin* **63**(2): 193–211.
- Andrade, I. M.; Silva, M. F. S.; Mayo, S. J.; Silva, A. G.; Silva, A. P. M.; Braz, G. S.; Nascimento, H. C. E.; Melo, L. M. B.; Costa, M. C. A.; Nascimento, M. G. P.; Reis, R. B. & Santos, R. L. 2012: Diversidade de Fanerógamas do Delta do Parnaíba – Litoral Piauiense: 63–114. In: Guzzi A., Biodiversidade do Delta do Parnaíba: litoral piauiense (ed.). – Editora da Universidade Federal do Piauí, Parnaíba.
- Andrade, I. M.; Silva, M. F. S.; Costa, M. C. A. & Mayo, S. J. 2014. Guide to the Aquatic Macrophytes of the Parnaíba Delta. – Editora da Universidade Federal do Piauí, Parnaíba.
- APG IV. 2016: Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. 2016. – *Botanical Journal of the Linnean Society* **161**: 105–121. Available

- online at: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> (accessed 26 May 2020).
- Araripe, H. C. A. 2005: Análise da gestão ambiental da carcinicultura: Estudo de caso da Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba. – Unpublished MSc dissertation, Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- Araripe, H. G. A.; Lopes, J. B. & Bastos, M. E. G. 2006: Aspectos do Licenciamento Ambiental da carcinicultura na APA do Delta do Parnaíba. – Revista Ambiente e Sociedade **9**(2).
- Araújo, L.; Silva, M. F. S.; Gomes, D. N.; Souza, M. B.; Mayo, S. J. & Andrade, I. M. 2018: Structure of a disturbed mangrove in the Rio Parnaíba delta, Piauí, northeast Brazil. – Feddes Repertorium **129**: 75–91. <https://doi.org/10.1002/fedr.201700017>.
- Bonhomme, V.; Picq, S.; Gaucherel, C. & Claude, J. 2014: Momocs: Outline Analysis Using R. – Journal of Statistical Software **56**(13), 1–24. Version 1.2.9 available at: <https://cran.r-project.org/src/contrib/Archive/Momocs/>. Latest updates available at <https://github.com/MomX/Momocs/>
- Castro, A. A. J. F. 2007: Unidades de Planejamento: Uma proposta para o Estado do Piauí com base na dimensão Diversidade de Ecossistemas, Programa de Biodiversidade do Trópico Ecotonal do Nordeste (Programa BIOTEN). – Publicações Avulsas em Conservação de Ecossistemas **18**: 1–28.
- Cavalcanti, A. P. B. 2004: Análise integrada das unidades paisagísticas na planície deltaica do Rio Parnaíba - Piauí/ Maranhão. – Mercator - Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará **3**: 105–118.
- Cavalcanti, D. R.; Carvalho, E. V. T.; Zagaglia, C. R.; Barreto, R. & Santos, R. N. A. 2007: Detecção de viveiros de carcinicultura e de salinas com imagens CBERS-2 e Landsat, localizados na APA Delta do Parnaíba: 3813–3819. – In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 21–26 abril 2007. – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasília.
- Claude, J. 2008: Morphometrics with R. – Springer, New York.
- Coronado, A. S.; Torres, M. A. J.; Panes, V. A.; Demayo, C. G.; Tolentino, V. S. & Lagunsad, C. B. 2008: Patterns of leaf shape variations in *Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob. – PUP Journal of Science & Technology [Polytechnic University of the Philippines] **2**(1): 25–31.
- Correia Filho, F. L.; Gomes, E. R.; Nunes, O. O. & Lopes Filho, J. B. 2011a: Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Água Doce do Maranhão. – Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Teresina. [http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15305/1/rel-agua\\_doce\\_ma.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15305/1/rel-agua_doce_ma.pdf)
- Correia Filho, F. L.; Gomes, E. R.; Nunes, O. O. & Lopes Filho, J. B. 2011b: Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Araioses. – Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Teresina.
- Cruz, M. V.; Mori, G. M.; Signori-Müller, C.; da Silva, C. C.; Oh, D-H.; Dassanayake, M.; Zucchi, M. I.; Oliveira, R. S. & Souza, A. P. 2019: Local adaptation of a dominant coastal tree to freshwater availability and solar radiation suggested by genomic and ecophysiological approaches. – Scientific Reports **9**: 19936. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56469-w>.
- Cruz, M. V.; Mori, G. M.; Oh, D-H.; Dassanayake, M.; Zucchi, M. I.; Oliveira, R. S. & Souza, A. P. 2020: Molecular responses to freshwater limitation in the mangrove tree *Avicennia germinans* (Acanthaceae). – Molecular Ecology **29**(2): 344–362.
- Cullen, J. 1968: Botanical problems of numerical taxonomy. – Pp. 175–183 in Heywood, V. H. (ed.), Modern methods in plant taxonomy. Academic Press, London.
- Daniel, T. F. 2016: *Avicennia* (Acanthaceae: Avicennioideae) in North America and Mesoamerica. – Proceedings of the California Academy of Sciences, ser. 4, **63**(5): 163–189.
- Davis, P. H. & Heywood, V. H. 1963: Principles of Angiosperm Taxonomy. – Oliver & Boyd, Edinburgh.
- Deus, M. S. M. 2000: Organização arquitetural de três bosques de manguezal do litoral do Piauí. – MSc dissertation, Universidade Estadual do Piauí e Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Deus, M. S. M.; Sampaio, E. V. S. B.; Rodrigues, S. M. C. B. & Andrade, V. C. 2003: Estrutura da vegetação lenhosa de três áreas de manguezal do Piauí com diferentes históricos de antropização. – Brasil Florestal **78**: 53–60.
- Dodd, R. S.; Rafii, Z. A. & Bousquet-Mélou, A. 2000: Evolutionary divergence in the pan-Atlantic mangrove *Avicennia germinans*. – New Phytologist **145**(1): 115–125.
- Dominguez, C. A.; Eguiarte, L. E.; Núñez-Farfán, J. & Dirzo, R. 1998: Flower morphometry of *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae): geographical variation in Mexican populations. – American Journal of Botany **85**: 637–643.
- Dryden, I. L. & Mardia, K. V. 2016: Statistical shape analysis with applications in R. Second edition. – J. Wiley, Chichester.
- Duke, N. C. 1990: Morphological variation in the mangrove genus *Avicennia* in Australasia: Systematic and ecological considerations. – Australian Systematic Botany **3**: 221–239.
- Duke, N. C. 1991: A systematic revision of the mangrove genus *Avicennia* (Avicenniaceae) in Australasia. – Australian Systematic Botany **4**: 299–324.
- Duke, N. C. 1992: Mangrove floristics and biogeography: 63–100. – In: Robertson, A. I. & Alongi, D. M. (eds.), Tropical Mangrove Ecosystems, vol. **41**. – American Geophysical Union, Washington DC.
- Duke, N. C. 1995: Genetic diversity, distributional barriers and rafting continents – more thoughts on the evolution of mangroves. – Hydrobiologia **295**: 167–181.
- EMBRAPA. 2006: Sistema brasileiro de classificação de solos. Ed. 2. Rio de Janeiro: – Centro Nacional de Pesquisas de Solos, Embrapa.
- Fernandes, A. G.; Lopes, A. S.; Silva, E. V.; Conceição, G. M. & Araújo, M. F. V. 1996: IV- Componentes biológicos: Vegetação: 43–72. – In: Fundação Cepro (ed.), Macrozoneamento Costeiro do Estado do Piauí: Relatório geoambiental e sócio-econômico. – Fundação CEPRO (Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Estado do Piauí), Teresina.
- Fidalgo, O. & Bononi, V. L. R. 1989: Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico. – Instituto de Botânica, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- Flora do Brasil. 2020: Acanthaceae. – In: Lista de Espécies da Flora do Brasil. – Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Available at: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB79916> (accessed 14 March 2020).
- Furuta, N.; Ninomaya, S.; Takahashi, S.; Ohmori, H. & Ukai, Y. 1995: Quantitative evaluation of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) leaflet shape by principal component scores based on elliptical Fourier descriptors. – Breeding Science **45**: 315–320.
- Hammer, O. & Harper, D. A. T. 2006: Paleontological data analysis. Oxford: – Blackwell.

- IBAMA. 1998: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de gestão e Diagnóstico Geo-Ambiental e Socioeconômico da APA do Delta do Parnaíba. – Ministério do Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Sociais da Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- IBGE. 2017: Araiões [Towns of Brazil]. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/araioses/panorama> (accessed 3 October 2017).
- IBGE. 2020: Água Doce do Maranhão [Towns of Brazil]. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/agua-doce-do-maranhao/panorama> (accessed 2 April 2020).
- ICMBio. 2020: Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba. Available at: <https://www.icmbio.gov.br/portal/visitaacao/1/unidades-abertas-a-visitaacao/9411-area-de-protecao-ambiental-delta-do-parnaiba> (accessed 27 February 2020).
- Iwata, H.; Nesumi, H.; Ninomiya, S.; Takano, Y. & Ukai, Y. 2002: The evaluation of genotype x environment interactions of citrus leaf morphology using image analysis and elliptic Fourier descriptors. – *Breeding Science* **52**: 243–251.
- James, G.; Witten, D.; Hastie, T. & Tibshirani, R. 2013: An introduction to statistical learning with applications in R. Springer, New York.
- Kjerfve, B. & Lacerda, L. D. 1993: Mangroves of Brazil: 245–272. – In: Lacerda, L. D. (ed.), Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in Latin America and African regions. Part 1 – Latin America. – Mangrove Ecosystem Technical Report No. 2. – International Society for Mangrove Ecosystems (ISME), Okinawa.
- Klingenberg, C. P. 2011: MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. – *Molecular Ecology Resources* **11**: 353–357.
- Klingenberg, C. P. 2015: Analyzing fluctuating asymmetry with geometric morphometrics: concepts, methods and applications. – *Symmetry* **7**: 843–934.
- Lima, E. A. M. & Leite, J. F. 1978: Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba; integração geológica-metalogenética. Relatório final da etapa. – Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)/ Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Recife.
- Lugo, A. E. & Snedaker, S. C. 1974: The ecology of mangroves. – *Annual Review of Ecology and Systematics* **5**: 39–64.
- Magris, R. A. & Barreto, R. 2010: Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brazil. – *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* **5**(4): 546–556.
- Maia, L. P.; Lacerda, L. D.; Monteiro, L. H. U.; Souza, G. & Marques, E. 2005: Estudo das áreas de manguezais do nordeste do Brasil: Avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, Relatório final. – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar/Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal, Fortaleza.
- Maldonado-López, Y.; Vaca-Sánchez, M. S.; Canché-Delgado, A.; García-Jaín, S. E.; González-Rodríguez, A.; Cornellissen, T. & Cuevas-Reyes, P. 2019: Leaf herbivory and fluctuating asymmetry as indicators of mangrove stress. – *Wetlands Ecology and Management* **27**: 571–580.
- Marcelino, A. M. T.; Oliveira, J. E. L.; Castro, P. T.; Araripe, H. G. A.; Leite, T. S. & Souza, B. L. Q. 1999: Caracterização dos Ecossistemas Costeiros dos Estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. – Natal.
- Marcus, L. 1990: Traditional morphometrics. Pp. 77–122 in Rohlf, F. J. & Bookstein, F. L. (eds.), Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop. The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan.
- Meireles, V. J. S. 2012: Etnobotânica e caracterização da pesca na comunidade Canárias, Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil. – MSc dissertation, Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- Meireles, V. J. S. 2016: Estrutura e apropriação de espécies lenhosas de mangue no Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil. – PhD thesis, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Meireles, M. P. A.; Meireles, V. J. S.; Santos, L. V. & Barros, R. F. M. 2017: Socioeconomic profile of artisanal fishermen of the Passarinho community, Marine Protected Area of the Delta of Parnaíba, Araiões/MA. – *Espacios* **38**, no. **13**(16).
- Meireles, V. J. S.; Meireles, M. P. A.; Vieira, F. J.; Campos, J. B. & Barros, R. F. M. 2018: Conhecimento botânico tradicional e conservação de espécies na RESEX Delta do Parnaíba, Nordeste do Brasil. – *Espacios* **39**, no. **45**(4).
- Menezes, M. P. M.; Berger, U. & Mehlig, U. 2008: Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. – *Acta Amazonica* **38**(3): 403–420.
- Mochel, F. R. 2002: Programa Integrado do Estudo Ecológicos dos Manguezais do Estado do Maranhão. – *Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado – para Países de Língua Portuguesa* **1**(2): 30–33.
- Moldenke, H. N. 1960: Materials towards a monograph of the genus *Avicennia*. I, II & III. – *Phytologia* **7**(3-5): 123–168, 179–232, 259–293.
- Monteiro, L. R. & Reis, S. F. 1999: Princípios de Morfometria Geométrica. – Holos, Ribeirão Preto.
- Mori, G. M. 2013: Characterization of natural populations of *Avicennia germinans* and *A. schaueriana* (Acanthaceae) from mangrove forests along the Brazilian coast and analysis of a hybridization zone: Phylogeography, population and community genetics. – PhD thesis, University of Campinas, Campinas.
- Mori, G. M.; Zucchi, M. I. & Souza, A. P. 2015a: Multiple-geographic-scale genetic structure of two mangrove tree species: the roles of mating system, hybridization, limited dispersal and extrinsic factors. – *PloS ONE* **10**(2): e0118710. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118710>. 23 p.
- Mori, G. M.; Zucchi, M. I.; Sampaio, I. & Souza, A. P. 2015b: Species distribution and introgressive hybridization of two *Avicennia* species from the Western Hemisphere unveiled by phylogeographic patterns. – *BMC Evolutionary Biology* **15**: 61. <https://doi.org/10.1186/s12862-015-1343-z>. 15 p.
- Nascimento, M. S. V. 1999: O manguezal do estuário dos rios Timonha-Ubatuba, Ceará - Piauí, Brasil: composição, estrutura e diagnóstico socioambiental. – MSc dissertation, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa.
- Nascimento, M. S. V. & Sassi, R. 2001: Interferências Humanas na Área de Influência Direta do Manguezal dos Rios Timonha/Ubatuba, Estado do Piauí, Brasil. – *Revista Nordestina de Biologia* **15**: 73–90.
- Pelage, L.; Domalain, G.; Lira, A. S.; Travassos, P. & Frédou, T. 2019: Coastal land use in Northeast Brazil: mangrove coverage evolution over three decades. – *Tropical Conservation Science* **12**: 1–15. <https://doi.org/10.1177/1940082918822411>.
- Pontes, T. A.; Andrade, I. M.; Richards, R. S.; Haigh, A.; van den Berg, C. & Mayo, S. J. 2019: *Anthurium harleyi* (Araceae) – a new rupicolous species of Section *Urospadix* from the northern Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. – *Kew Bulletin* **74**(1)-11: 1–12. <https://doi.org/10.1007/S12225-019-9796-3>
- Profice, S. R.; Kameyama, C.; Côrtes, A. L. A.; Braz, D. M.; Indriunas, A.; Vilar, T.; Pessoa, C.; Ezcurra, C. &

- Wasshausen, D. 2020: Acanthaceae. – Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB79917> (accessed 8 March 2020).
- Quinn, G. P. & Keough, M. J. 2002: Experimental design and data analysis for biologists. – Cambridge University Press, Cambridge.
- R Core Team. 2020: R: A language and environment for statistical computing. Vienna: – R Foundation for Statistical Computing. Available at: <https://www.R-project.org/> (accessed 11 June 2020).
- Remagnino, P.; Mayo, S.; Wilkin, P.; Cope, P. & Kirkup, D. 2017: Computational Botany: Methods for automated species identification. Springer, Berlin.
- Ripley, B. & Venables, W. 2020: Package "class". Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/class/index.html> (accessed 6 April 2020)
- Robot, R.; Sangari, J. R. R. & Toloh, B. H. 2018: *Avicennia marina* leaf morphometric digital data visualization in Tongkaina and Bintauna coastal areas. – Jurnal Ilmiah Platax **6**(1): 42–53.
- Rodrigues, T. L. N.; Araujo, C. C.; Camozzato, E. & Ramgrab, G. E. 1994: Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil: São Luís, folha SA-23-2-A, Cururupe folha SA-23-X-C, escala 1: 250.000. – Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Brasília.
- Rohlf, F. J. 2013a: tpsDig. Software to digitize coordinates of landmarks and capture outlines, version 2.17. – Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook.
- Rohlf, F. J. 2013b: tpsUtil. Utility program useful when working with tps files, version 1.58. – Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook.
- RStudio Team. 2020: RStudio: Integrated Development Environment for R, version 1.2.5042. – RStudio Inc., Boston, Massachusetts. Available at: <http://www.rstudio.com> (accessed 11 June 2020).
- Santos-Filho, F. S.; Almeida, J. R., E.B.; Lima, P. B. & Soares, C. J. R. S. 2015: Checklist of the flora of the restingas of Piauí state, Northeast Brazil. – Checklist **11**(2): 1–10. <http://dx.doi.org/10.15560/11.2.1598>.
- Schauer, J. C. 1851: Verbenaceae: 169–308 [*Avicennia*: 301–308]. – In: Martius C. F. P., ed. Flora Brasiliensis 9. – F. Fleischer, Munich.
- Schlichting, C. D. & Pigliucci, M. 1998: Phenotypic evolution: a reaction norm perspective. – Sinauer Associates, Sunderland.
- Silva, M. F.; Cruz, M. V.; Vidal Junior, J. D.; Zucchi, M. I.; Mori, G. M. & Souza, A. P. 2020: Geographic and environmental contributions to genomic divergence in mangrove forests. – bioRxiv preprint server. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.01.08.889717>
- Silva, M. F. S.; Andrade, I. M. & Mayo, S. J. 2012: Geometric morphometrics of leaf blade shape in *Montrichardia linifera* (Araceae) populations from the Rio Parnaíba Delta, north-east Brazil. – Botanical Journal of the Linnean Society **170**: 554–572.
- Soto, R. S. & Corrales, L. F. 1987: Variación de algunas características foliares de *Avicennia germinans* (L.) L. (Avicenniaceae) en un gradiente climático y de salinidad. – Revista de Biología Tropical **35**(2): 245–256.
- Souza, G. S. 2020: Caracterização limnológica do Rio Água Doce e percepção ambiental de pescadores do município de Água Doce do Maranhão, Maranhão, Brasil. – MSc dissertation, Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- Spalding, M.; Kainuma, M. & Collins, L. 2010: World Atlas of Mangroves. – Earthscan, London.
- SpeciesLink. 2020: O projeto *speciesLink*. Available at: <http://www.splink.org.br> (accessed 6 April 2020).
- Steudl, W. T. 1958: A key to the West Indian mangroves. – Kew Bulletin **13**(1): 33–37.
- Stuessy, T. F. 2009: Plant taxonomy: The systematic evaluation of comparative data. Second edition. Columbia University Press, New York.
- Tomlinson, P. B. 2016: The botany of mangroves. Edition 2. – Cambridge University Press, Cambridge.
- Tropicos. 2020: Tropicos.org. – Missouri Botanical Garden, St. Louis. Available online at: <http://www.tropicos.org> (accessed 26 May 2020).
- Varmuza, K. & Filzmoser, P. 2009: Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics. – CRC Press, Boca Raton.
- Vieira, A. F.; Putrick, S. C. & Cury, M. J. F. 2014: A geografia, o desenvolvimento regional e o turismo na Ilha das Canárias, Estado do Maranhão – MA – Brasil. – Geographia Opportuno Tempore, Londrina, número especial, **1**: 537–553.
- Vieira, M.; Mayo, S. J. & Andrade, I. M. 2014: Geometric morphometrics of leaves of *Anacardium microcarpum* Ducke and *A. occidentale* L. (Anacardiaceae) from the coastal region of Piauí, Brazil. – Brazilian Journal of Botany **37**(3): 315–327.
- Viscosi, V. 2015: Geometric morphometrics and leaf phenotypic plasticity: assessing fluctuating asymmetry and allometry in European white oaks (*Quercus*). – Bot. J. Linnean Soc. **179**: 335–348.
- Viscosi, V. & Cardini, A. 2011: Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: a simplified protocol for beginners. – PLoS ONE **6**: issue 10, e25630, 20p.
- Wickham, H. 2016: ggplot2: Elegant graphics for data analysis. – Springer, New York. Updated details available at: <https://ggplot2.tidyverse.org/> (accessed 4 April 2020).
- Yoshioka, Y.; Iwata, H.; Ohsawa, R. & Ninomiya, S. 2004: Analysis of petal shape variation of *Primula sieboldii* by elliptic Fourier descriptors and principal component analysis. – Annals of Botany **94**: 657–664.
- Zelditch, M. L.; Swiderski, D. L. & Sheets, D. L. 2012a: Geometric Morphometrics for Biologists, a Primer. 2nd edition. – Elsevier, Amsterdam.
- Zelditch, M. L.; Swiderski, D. L. & Sheets, H. D. 2012b: A practical companion to geometric morphometrics for biologists: running analyses in freely-available software. Available at: <http://booksite.elsevier.com/9780123869036/content/Workbook.pdf> (accessed 3 April 2020).

## Supporting information

Additional supporting information may be found in the online version of this article at the publisher's web-site:

Appendix S1.

Appendix S2.

Appendix S3.

**ANEXO D - Diretrizes para autores - Revista Caderno de Prospecção****CADERNOS DE PROSPECÇÃO****INSTRUÇÕES DE FORMATAÇÃO****1. FORMATAÇÃO BÁSICA****1.1 Cabeçalho**

- Não é necessário que o(s) autor(es) preencham cabeçalho, os dados de recebimento e aceite do documento. Reservado ao processo editorial da Revista.

**1.2 Espaçamento**

- O corpo do texto tem entrelinhas em espaçamento simples.
- Alinhamento justificado para o corpo do texto.
- Alinhamento justificado para a seção de REFERÊNCIAS.

**1.3 Formato**

- Documento com no mínimo 10 e máximo 15 páginas (incluindo Tabelas, Ilustrações e Referências) e deverá ser gravado no formato word (97-2003) ou compatível.
- Fonte Times New Roman (incluindo Tabelas, Ilustrações e Referências).
- Fonte tamanho 12 para o corpo do texto (excluindo Tabelas e Ilustrações).
- Fonte tamanho 11 para a chamada, título e o corpo do texto de Tabelas e Ilustrações.
- Fonte tamanho 10 para indicação de autoria em todas as Tabelas e Ilustrações.
- Fonte tamanho 10 para notas de rodapé.
- A página deve ser em formato A4 (21cm x 29,7cm em formato retrato).

**1.4 Idioma**

- O documento deve ser escrito em Português, de acordo com as normas ortográficas vigentes.

**1.5 Margens**

- Superior: 3,0 cm; para as demais: 2,0 cm.

**1.6 Notas de rodapé**

- São numeradas em ordem sequencial com algarismo arábico. Identificadas por um traço simples na parte superior. Usar fonte 10. Possui espaçamento de parágrafos: antes de 0pt; e depois 0 pt, com alinhamento justificado.

**1.7 Paginação**

- Não é necessário informar. Reservado ao processo editorial da Revista.

**1.8 Palavras-chave**

- Devem ser indicadas 03(três) palavras-chaves, em português, separadas por ponto, com alinhamento à esquerda.
- Devem ser indicadas 03(três) palavras-chaves, em inglês, separadas por ponto, com alinhamento à esquerda.

**1.9 Parágrafo**

- O início de parágrafo não deverá ter recuo.
- O corpo do texto deverá ser alinhado e justificado com o seguinte espaçamento de parágrafos: antes de 0pt; e depois 6pt, exceto a seção de REFERÊNCIAS.
- A seção de REFERÊNCIAS deverá ter alinhamento justificado com o seguinte espaçamento de parágrafos: antes de 0pt; e depois 12pt.

**1.10 Resumo**

- O documento deve apresentar um resumo em português e um em inglês (Abstract).

- Cada resumo deverá ser escrito em um único parágrafo, com no máximo 150 palavras, justificado e com o seguinte espaçamento: antes de 0pt; e depois 6 pt.

### **1.11 Rodapé**

- Não é necessário informar. Reservado ao processo editorial da Revista.

### **1.12 Seções**

- Obrigatoriamente, o documento deverá conter as seções, sem numeração, com os seguintes títulos: INTRODUÇÃO, METODOLOGIA, RESULTADOS E DISCUSSÃO, CONCLUSÃO e REFERÊNCIAS.
- A identificação das seções começa a partir da segunda página do documento com a seção INTRODUÇÃO.
- O título das seções deverá ser escrito em letras maiúsculas, alinhamento à esquerda, sem negrito, fonte Times New Roman, tamanho 12.
- Entre uma seção e outra deverá ser inserido um parágrafo vazio.
- Os subtítulos das seções, caso houver, deverão ser escritos em minúsculo, alinhamento à esquerda, sem negrito, fonte Times New Roman, tamanho 12.
- É indispensável que o documento apresente uma revisão da literatura. E, apenas desejável a indicação de perspectivas.
- As REFERÊNCIAS e as CITAÇÕES empregadas devem seguir as normativas indicadas da ABNT.

### **1.13 Títulos**

Documento

- Escritos em Português e em Inglês, em letras maiúsculas, sendo centralizado, sem negrito, fonte Times New Roman, tamanho 12, conforme MODELO.

## **2. ÁREA TECNOLÓGICA**

- Os autores deverão indicar até três Áreas Tecnológicas para o documento apresentado e conter a seguinte formatação: fonte 12, alinhamento à esquerda, caixa baixa, sem negrito.

## **3. NOME (S) DO(S) AUTOR(ES)**

- No documento inicial, para avaliação cega, o(s) nome(s) do(s) autor(es) NÃO deve(m) aparecer no corpo do documento. Pede-se, também, a eliminação de trechos que prejudiquem a garantia de anonimato na avaliação e de dados de identificação nas propriedades do documento.
- No documento final, ou seja, apenas nos trabalhos aprovados, o(s) nome(s) do(s) autor(es) deverá(ão) aparecer. A indicação acontecerá após o título em Português, por ordem de autoria, em fonte 12, centralizado, espaçamento simples, separados por ponto e vírgula. Haverá a indicação de afiliação, informando a Instituição, Setor da Instituição, Cidade, Estado e País. Após a indicação da Área tecnológica, será preciso indicar o endereço eletrônico (e-mail) do autor de correspondência.

## **4. TABELAS**

As tabelas deverão seguir as seguintes regras:

- Numerada consecutivamente com algarismo arábico, e a chamada destacada em negrito.
- O título, após o uso de travessão, é justificado na parte superior, sem negrito, em caixa baixa, em fonte tamanho 11, e usar ponto final.
- Sem bordas à esquerda e à direita.
- Não usar traços verticais para separar colunas.
- Não usar traços horizontais para separar os dados numéricos.

- A referência de autoria é obrigatória, fica abaixo da Tabela, em fonte tamanho 10, justificado, e usar ponto final.
- Nota, caso necessário, é feita na parte inferior, após a fonte de autoria, usando fonte tamanho 10, e usar ponto final.
- Usar uma linha vazia antes e depois da Tabela.
- Preferencialmente, ser em preto e branco, sendo inserida no corpo do documento próxima a sua citação.
- A Tabela deverá ser do tamanho limitado pelo contorno da folha padrão. É justificada.

**EXEMPLO:**

[Inserir uma linha vazia - fonte 12. Usar negrito apenas na chamada - número arábico - fonte 11 – justificado - Título sem negrito - espaçamento simples - usar ponto final].

**Tabela 1** – Balanço de Pagamento Tecnológico (2002 a 2015): Receita com Royalties e Serviços de Assistência Técnica (ingressos em US\$ milhões).

Ano	Uso de Marcas (Cessão e Licença)	Exploração de Patentes (Cessão e Licença)	Fornecimento de Tecnologia	Serviços de Assistência Técnica	Franquias	Total
2002	19	0	7	2	0	27
2003	2	0	2	4	0	9
2004	3	0	2	2	0	7
2005	1	0	2	38	0	41
2006	22	2	6	686	0	717
2007	34	2	7	901	1	944
2008	49	13	47	611	1	720
2009	40	1	75	690	3	808
2010	67	7	64	605	1	743
2011	94	10	122	653	1	880
2012	84	26	95	1.163	3	1.372
2013	66	14	158	816	11	1.065
2014	119	33	57	293	1	503
2015	202	61	55	391	1	710

Fonte: Banco Central do Brasil (2016).

[Indica autoria e ano - fonte 10 - justificado - ponto final. Inserir depois uma linha vazia - fonte 12].

## 5. ILUSTRAÇÕES

As ilustrações deverão seguir as seguintes regras:

- São consideradas ilustrações: quadro, gráfico, desenho, esquema, fluxograma, fotografia, mapa, organograma, figura, imagem, entre outras.
- Podem ser coloridas ou em preto e branco. Inseridas no corpo do documento, preferencialmente próxima a sua citação.
- Numeradas consecutivamente com algarismo arábico, por tipo utilizado (por exemplo: Figura 1, Figura 2, Quadro 1).
- A chamada é em caixa baixa, em negrito, o uso de travessão, centralizado na parte superior.
- O texto deve está em fonte Times New Roman, tamanho 11 ou menor.
- Sem moldura, contornos ou bordas. Exceto, a ilustração do tipo Quadro, necessariamente, possui as quatro bordas (esquerda/direita/inferior/superior).



- Tem alinhamento centralizado.
- A referência de autoria é obrigatória, e ficará abaixo de cada ilustração.
- Não deverá exceder ao tamanho limitado pelo contorno da folha padrão.
- Quando necessário, o uso de notas para esclarecimentos, é feito na parte inferior, após a fonte de autoria, usando fonte tamanho 10.
- Usar uma linha vazia antes e depois de cada ilustração.

EXEMPLO:

[Inserir uma linha vazia - fonte 12. Usar negrito apenas na chamada - travessão - algarismo arábico - fonte 11 - justificado - Título sem negrito - espaçamento simples - usar ponto final].

**Figura 1** – Literatura não patenteada, citada nos relatórios de busca PCT, relativas à área de biotecnologia, no período de janeiro de 2000 a setembro de 2010: percentual por base de dados de texto completo.

Fonte: Santos (2010).

[Indica autoria e ano - fonte 10 - justificado - ponto final. Inserir uma linha vazia - fonte 12]

EXEMPLO:

[Inserir uma linha vazia - fonte 12. Usar negrito apenas na chamada - travessão - algarismo arábico - fonte 11 - justificado - Título sem negrito - espaçamento simples - usar ponto final]

**Quadro 1** – Propriedade industrial: instrumento, itens passíveis de proteção e tratados internacionais administrados pela OMPI.

Instrumento de proteção	O que protege	Tratados relevantes
Patentes e Modelos de Utilidade	Invenções	a) Convenção de Paris para a Proteção da Propriedade Industrial (1883); b) Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes – PCT (1970); c) Tratado de Budapeste sobre o Reconhecimento Internacional do Depósito dos Microorganismos para fins de Instauração de Processos em Matéria de Patentes (1977); d) Acordo de Estrasburgo, relativo à Classificação Internacional de Patentes (1971); e) Tratado da Lei de Patentes – PLT (2000).

Fonte: Elaboração própria.

[Indica a autoria - fonte 10 - justificado - ponto final. Inserir uma linha vazia - fonte 12]

## 6. CITAÇÕES

- As citações deverão seguir as normas da ABNT – NBR10520.

A seguir, veja alguns exemplos.

### Um autor ou dois autores

Utilizar o último sobrenome do autor principal e o ano de publicação entre parênteses.

Exemplo: “Souza (2000) mostrou...”, ou “é uma categoria obsoleta (Souza, 2000)”.  
“... segundo Rhodes e Geldart (1995)...”

### Três ou mais autores

Citar o sobrenome do 1º autor seguido da expressão “et al.”

Exemplo: (SILVA et al., 2010) ou Silva et al. (2010).

### Citações diretas e de até três linhas

Especificar no texto a(s) página(s), volume(s), termo(s) ou seção(ões) da fonte consultada. Devem estar contidas entre aspas duplas. As aspas simples são utilizadas para indicar citação no interior da citação.

Nas citações indiretas, a indicação da(s) página(s) consultada(s) é opcional.

Exemplo: Diz Drake, Volgl e Mitchell (2005, p. 221) "A câmara delimitada pela parede abdominal contém uma única grande cavidade peritoneal, a qual se comunica livremente com a cavidade pélvica."

### **Citações diretas, com mais de três de linhas**

Devem ser destacadas com recuo de 4 cm da margem esquerda, com letra menor que a do texto utilizado e sem aspas.

Exemplo: A preocupação pela qualidade, como afirma Vergueiro (1993, p. 14), é:

Tradicionalmente, essas unidades de informação preocuparam-se com a melhoria da qualidade de seus produtos e serviços, aprimorando a organização física e estrutural do trabalho ou buscando um fluxo organizacional que atendesse os objetivos pretendidos.

### **Citações de diversos documentos de um mesmo autor no mesmo ano**

Devem ser distinguidas pelo acréscimo de letras minúsculas, em ordem alfabética, após a data e sem espaçamento, conforme a lista de referências.

Exemplo: De acordo com Silva (2009a)... (SILVA, 2009b)

## **7. REFERÊNCIAS**

- As referências deverão seguir as normas da ABNT – NBR 6023, com exceção do alinhamento que deverá ser justificado.
  - Incluir somente no documento as obras citadas no texto, relacionadas em ordem alfabética, de acordo com o sobrenome do primeiro autor.
  - Espaçamento de parágrafo entre cada referência deve ser de 0pts antes e 12pts depois, com espaço simples entrelinhas.
- A seguir, veja alguns exemplos.

### **Bases de dados**

- Parte da base de dados:

ÁCAROS no Estado de São Paulo. In: FUNDAÇÃO TROPICAL DE PESQUISAS E TECNOLOGIA "ANDRÉ TOSELLO". **Base de Dados Tropical**. 1985. Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/acaro/sp/>>. Acesso em: 30 maio 2002.

- Pesquisa global em base de dados:

ESPACENET [Base de dados – Internet]. European Patent Office; 2016. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/>> Acesso em 13 jul. 2016.

SCIENCE DIRECT [Base de dados – Internet]. Elsevier; 2016. Disponível em: <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)> Acesso em 13 out. 2016.

### **Documentos jurídicos disponíveis em meio eletrônico**

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm)> Acesso em 14 out. 2016.

BRASIL. Lei nº 9.887, de 7 de dezembro de 1990. Altera a legislação tributária federal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 8 dez. 1999. Disponível em: <[http://www.in.gov.br/mp\\_leis/leis\\_texto.asp?Id=%209887](http://www.in.gov.br/mp_leis/leis_texto.asp?Id=%209887)>. Acesso em 22 dez. 1999.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Ação direta de inconstitucionalidade nº 3510/DF – Distrito Federal. Relator: Ministro Ayres Britto. **Pesquisa de Jurisprudência**, Acórdãos, 29 maio 2008. Disponível em: <<http://www.stf.jus.br/portal/jurisprudencia/pesquisarJurisprudencia.asp>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

### Evento

SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 3., 2002, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, DZO, 202. 271 p.

### Livro

HUBERMAN, L. **História da riqueza do homem**. 21. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

### Matéria de revista, boletim etc.

NARDELLI, A. M. B.; GRIFFITH, J. J. Modelo teórico para compreensão do ambientalismo empresarial do setor florestal brasileiro. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 855-869, jun. 2003.

### Matérias de jornal assinadas em meio eletrônico

ALVES, M. M. Mundo dos loucos. **O Globo**, Rio de Janeiro, 20 dez. 2000. Disponível em: <<http://www.oglobo.com.br/colunas>>. Acesso em: 20 dez. 2000.

### Monografia/dissertação/tese

MARTINS, C. J. M. **Aplicação de ferramentas computacionais para prospecção tecnológica por mineração de dados não-estruturados sobre patentes industriais em idioma inglês**. 2008. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

### Monografias (livros e afins), disponíveis na internet, na íntegra

ALVES, C. **Navio negreiro**. [S.l.]: Virtual Book, 2000. Disponível em: <<http://www.terra.com.br/virtualbooks/feedbooks/pot/Lpor2/navionegreiro.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2002.

### Patentes disponíveis em meio eletrônico

Elementos essenciais: depositante; inventor, em ordem direta; título e número da patente e datas, de depósito e concessão (caso haja); endereço eletrônico e data de acesso.

EMBRAPA. Unidade de Apoio, Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (São Carlos, SP). Paulo Estevão Cruvinel. **Medidos digital de temperatura para solos**. BR n. PI 8903105-9, 26 jun. 1989, 30 maio 1995. Disponível em: <<https://gru.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchBasico.jsp>> Acesso em: 22 jul. 2016.

### Trabalho apresentado em evento

ORLANDO SOBRINHO, J.; SILVA, L. E. Resposta à colagem. In: SEMINÁRIO SBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 2., 1985, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 123-157.

### Trabalho apresentado em evento em meio eletrônico

MACIEL, A. M. D.; SALES JR., Ronaldo L.; SIQUEIRA, A. J. O indivíduo e a pós-modernidade. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO DA UFPE, 4., 1996, Recife. **Anais eletrônicos...** Recife: UFPE, 1996. Disponível em: <<http://www.propesq.ufpe.br/anais/cfch/cfchtrab/htm>>. Acesso em: 16 jan. 2001.

## ANEXO E - Diretrizes para Autores - Revista Humanidades & Inovação



### Normalização dos manuscritos:

**Artigos (15 a 25 páginas):** textos de pesquisas concluídas, síntese de pesquisa.

**Relatos de experiência** (até 15 páginas): comunicações breves de relatos de experiências acadêmicas ou profissionais, com evidências metodologicamente adequadas.

**Resenhas** (até 10 páginas): revisão crítica de obra publicada recentemente, orientando o leitor quanto a suas características e usos potenciais.

**Entrevistas** (até 25 páginas): colóquio entre pessoas em local combinado, para obtenção de esclarecimentos, avaliações, opiniões etc. Deve constituir de uma apresentação do entrevistado de até 700 palavras.

Os manuscritos devem ter ser digitados em fonte Arial, corpo 12, espaçamento 1,5 e margens 2,5cm, em papel tamanho A4.

O título, em caixa alta, deve estar destacado em negrito, com alinhamento centralizado e entrelinha simples. Na linha seguinte, deve ser indicada a versão do título em inglês ou espanhol ou francês ou italiano.

O resumo, de 100 a 150 palavras, em português e em inglês (ou espanhol ou francês), deve ser em corpo 11, alinhamento justificado, entrelinha simples. O termo “Resumo” deve estar em negrito, seguido de dois pontos. As palavras-chave, em português e em inglês (ou espanhol ou francês), devem ter a mesma configuração do resumo. O termo “Palavras-chave” deve estar em negrito, seguido de dois pontos. Extensão de 3 a 5 palavras, separadas entre si por ponto e vírgula e concluídas com ponto final. Para facilitar a localização em consultas bibliográficas, as palavras-chave devem corresponder a conceitos gerais da área do trabalho.

Imagens, quadros ou gráficos que acompanhem o texto devem: estar em escala de cinza; constar dentro do documento no espaço previsto; ser enviados em arquivos separados, para o caso de problemas na formatação. As citações com até 3 linhas devem ser marcadas com aspas duplas e inseridas no corpo do texto. A citação que ultrapassar 3 linhas deve ser recuada e inserida em parágrafo próprio, com recuo de 4cm, fonte Arial, corpo 11, alinhamento justificado, entrelinha simples. A citação deverá conter o nome do autor, o ano da obra e as páginas, apresentadas de acordo com os casos exemplificados abaixo.

Exemplos de citações e referências, conforme as normas da ABNT (NBR 6023)

Livro

BENJAMIN, Walter. **Rua de mão única**. 5 ed. São Paulo: Brasiliense, 1995. (Obras escolhidas, v. 3).

BARTHES, Roland et al. **Literatura e realidade (que é o realismo)**. Apresentação Tzvetan Todorov. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1984.

- Capítulo de livro  
LAFETÁ, João Luiz. Três teorias do romance: alcance, limitações, complementaridade. In: ———. **A dimensão da noite e outros ensaios**. Organização Antonio Arnoni Prado. São Paulo: Duas Cidades; Editora 34, 2004. p. 284-95.

Artigo em coletânea

LIPPARD, Lucy R. Trojan Horses: Activist Art and Power. In: WALLIS, Brian (Ed.). **Art after Modernism: Rethinking representation**. New York: The Museum of Contemporary Art; Boston: Godine, 1984. p. 341-58.

Artigo de jornal

FISCHER, Luís Augusto. Nobreza do samba. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 05 jul. 2009. Mais!, p. 3.

Artigo em revista impressa

HIRT, André. Le retrait et l’action (Marx et Hölderlin). **Alea: estudos neo latinos**: revista do Programa de Pós-graduação em Letras Neolatinas da UFRJ, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 304-24, jul.-dez. 2008.

Artigo em meio eletrônico

DUARTE, Livia Lemos. O narrador do romance Cidade de Deus, de Paulo Lins. **Revista Garrafa**: revista virtual do Programa de Pós-graduação em Ciência da Literatura da UFRJ, Rio de Janeiro, n. 5, jan.-abr. 2005. Disponibilidade em: <[http://www.lettras.ufrj.br/ciencialit/index\\_revistagarrafa.htm](http://www.lettras.ufrj.br/ciencialit/index_revistagarrafa.htm)>. Acesso em: 10 jul. 2007.

Trabalho apresentado em evento

SANTIAGO, Silviano. O intelectual modernista revisado. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA FACULDADE DE LETRAS DA UFRJ, 1., 1987, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Faculdade de Letras da UFRJ, 1989. Palestra. p. 79-87.

CONGRESSO INTERNACIONAL DE ESTUDOS LINGÜÍSTICOS E LITERÁRIOS NA AMAZÔNIA, 2., 2009, Belém. **Anais...** Belém: UFPA, 2010. 2 v. Disponibilidade em: [http://www.ufpa.br/ciella/download/anais\\_ciella2\\_v2.pdf](http://www.ufpa.br/ciella/download/anais_ciella2_v2.pdf). Acesso em: 21 out. 2011.

Trabalho apresentado em evento em meio eletrônico

ANDRADE, Paulo. Travessia e impasse: a tradição modernista na poesia de Sebastião Uchoa Leite. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA ABRALIC: TRAVESSIAS, 11., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABRALIC; UFRGS, 2004. 1 CD-ROM.

Documento eletrônico:

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Coordenadoria Geral de Bibliotecas. Grupo de Trabalho Normalização Documentária da UNESP. **Normalização Documentária para a produção científica da UNESP: normas para apresentação de referências**. São Paulo, 2003. Disponibilidade em: <[http://unesp.br/cgb/mostra\\_arq\\_multi.php?arquivo=4631](http://unesp.br/cgb/mostra_arq_multi.php?arquivo=4631)>. Acesso em: 23 set. 2012.

CD-ROM:

KOOGAN, A.; HOUAISS, A. (Ed.) **Enciclopédia e dicionário digital 98**. Direção geral de André Koogan Breikman. São Paulo: Delta; Estadão, 1998. 5 CD-ROM. Produzida por Videolar Multimídia.

Dissertação e tese

TELLES, Luís Fernando Prado. **Narrativa sobre narrativas: uma interpretação sobre o romance e a modernidade (com uma leitura da obra de António Lobo Antunes)**. 2009. 526 f. Tese (Doutorado em Teoria e História Literária)—Instituto de Estudos da Linguagem, Unicamp, Campinas, 2009.

A **Revista Humanidades & Inovação** publica textos em português, inglês, espanhol e francês. Aqueles que possuem como língua vernácula o **inglês, francês ou espanhol**, devem apresentar o resumo **em português**.

## **Apresentação**

Revista Humanidades e Inovação -1ª Edição

Vol. 1 N° 1 - 2014

## **Artigos**

Política padrão de seção

## **Declaração de Direito Autoral**

A submissão de originais para este periódico implica na transferência, pelos autores, dos direitos de publicação impressa e digital. Os direitos autorais para os artigos publicados são do autor, com direitos do periódico sobre a primeira publicação. Os autores somente poderão utilizar os mesmos resultados em outras publicações indicando claramente este periódico como o meio da publicação original. Em virtude de sermos um periódico de acesso aberto, permite-se o uso gratuito dos artigos em aplicações educacionais, científicas, não comerciais, desde que citada a fonte (por favor, veja a Licença *Creative Commons* no rodapé desta página).

## **Política de Privacidade**

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

**ANEXO F - Comprovante de submissão de artigo –**

## ANEXO G - Comprovante de aceite de artigo a Revista Humanidades & Inovação



Gracelia Paiva <graceliapaiva@gmail.com>

---

### [HI] Decisão editorial

2 mensagens

---

**Dra. Kyldes Batista Vicente** <kyldes.bv@unitins.br>

16 de abril de 2021 16:42

Para: Maria Gracelia Paiva Nascimento <graceliapaiva@gmail.com>, Graziela de Araújo Lima <grazilima17@hotmail.com>, Cleiton Barroso Bittencourt <cleiton\_court@hotmail.com>, Simon Joseph Mayo <simonjosephmayo@gmail.com>, Ivanilza Moreira de Andrade <ivanilzaandrade@hotmail.com>

Maria Gracelia Paiva Nascimento, Graziela de Araújo Lima, Cleiton Barroso Bittencourt, Simon Joseph Mayo, Ivanilza Moreira de Andrade,

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetido à revista Humanidades & Inovação, "MAPEAMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO DE ESPÉCIES DE MANGUEZAL".

A decisão é:

**Aprovado. Solicito que encaminhe o texto com as correções para o e-mail abaixo, em word e nas normas especificadas no modelo em anexo, as informações de autoria com link de Lattes e Orcid para que possamos encaminhar para editoração.**

**Prazo: 23/4/2021**


**At.te.**

**Kyldes Vicente**

**Editora-chefe**

E-mail: [edicao.rev.humanidades@unitins.br](mailto:edicao.rev.humanidades@unitins.br)

---

 **B-template\_revista com AUTORIA.docx**  
545K

---

## ANEXO H - Artigo publicado na Revista *Open Journal Systems*

**OPEN  
JOURNAL  
SYSTEMS**

ISSN:2237-2202

Available on line at **Directory of Open Access Journals**

Journal of Hyperspectral Remote Sensing v.9, n.1 (2019) 10-20

www.periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs

**Journal of  
Hyperspectral  
Remote Sensing**

www.ufpe.br/jhrs

### Climatological trends for the municipality of Parnaíba Piauí/Brazil

Maria G. P. Nascimento<sup>\*</sup>, Graziela de A. Lima<sup>\*\*</sup>, Ivanilza M. de Andrade<sup>\*\*\*</sup>, Josicléda D. Galvínio<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI), Teresina/PI, Brasil. E-mail: graceliapaiva@gmail.com (autor correspondente)

<sup>\*\*</sup>Pós-Graduação em Gestão e Educação Ambiental, Universidade Estadual do Piauí, Campo Maior/PI, Brasil. E-mail: grazilima17@hotmail.com

<sup>\*\*\*</sup>Docente do PRODEMA/UFPI, Teresina/PI, Brasil. E-mail: ivanilzaandrade@hotmail.com

<sup>\*\*\*\*</sup>Docente do PRODEMA/UFPE, Universidade Federal do Pernambuco, Recife/PE, Brasil. E-mail: josicleda@gmail.com

Received 8 February 2019; accepted 3 April 2019

#### ABSTRACT

The increase in the average temperature of the planet can cause changes in rainfall regimes, deregulate the water capacity of a region, aggravate health problems in the population and cause economic losses. Analyzing sites that are undergoing a meteorological trend makes it possible to estimate the possible detriments of these changes in socioeconomic activities. Thus, we investigated temporal trends in historical series for precipitation and average temperature between 1962 and 2017 in the city of Parnaíba, Piauí. Rainfall data were compiled from the National Institute of Meteorology and the National Water Agency, obtaining maximum annual rainfall and average temperatures, for the classification of extreme events linked to precipitation was applied the Quantis technique. The averages over the years 1964, 1974 and 1985 were the rainiest of the series, referring to three peaks of flood (high precipitation). The years 1988 and 1991 were categorized as "very rainy". On the other hand, 1998-2017 were the driest years, presenting the highest numbers of drought, during which period the increase of fires occurred in Piauí. It can be concluded that droughts are longer, resulting in water reduction, and as soon as the climatological trends for the city exist, it is suggested that we can consider them as impacts of global climate change.

Keywords: Climatology, climate change, precipitation.

### Tendências climatológicas para o município de Parnaíba Piauí/Brasil

#### RESUMO

O aumento da temperatura média do planeta poderá acarretar mudanças nos regimes das chuvas, alterar a capacidade hídrica de uma região, agravar problemas de saúde na população e causar prejuízos econômicos. Analisar locais que estão sofrendo tendência meteorológica possibilita estimar possíveis detriments destas alterações nas atividades socioeconômicas. Assim, investigou-se as tendências temporais em séries históricas para precipitação e temperatura média entre os anos de 1962 a 2017, para o município de Parnaíba, Piauí. Foram compilados dados de postos pluviométricos do Instituto Nacional de Meteorologia e a Agência Nacional de Águas, obtendo-se máximas anuais de precipitações e temperaturas médias, para classificação dos eventos extremos ligados a precipitação aplicou-se a técnica Quantis. As médias ao longo dos anos de 1964, 1974 e 1985 foram as mais chuvosas das séries, referentes a três picos de inundação (alta precipitação). Os anos de 1988 e 1991, foram categorizados como "muito chuvoso". Por outro lado, 1998-2017 foram os anos mais secos, apresentando os maiores números de estiagens, período esse que ocorreu o aumento de focos de queimadas no Piauí. Pode-se ultimar que as secas estão mais longas, tendo como consequência a redução hídrica, e assim que as tendências climatológicas para o município existem, sugere-se que podemos considerá-las com impactos das mudanças climáticas globais.

Palavras-Chave: climatologia, mudanças climáticas, precipitação.

#### 1. Introdução

Nos últimos anos o meio científico e acadêmico vêm discutindo sobre as alterações climáticas (Blain, 2010; Diehl et al., 2010; Insaf et al., 2012; Rusz, 2012; IPCC, 2014; Andrade et al., 2014; Nunes, 2016; Wanderley et al., 2018). Isso se deve ao cenário de mudanças climatológicas, que apresentam aumento acima de 2 °C na temperatura

média global do planeta, o que inclui grandes desequilíbrios em ecossistemas, como alterações significativas da Floresta Amazônica afetando toda a biodiversidade, perdas significativas de geleiras nas cordilheiras os Andes e do Himalaia, como apresentado no Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014).



Além disso, em áreas de ecossistemas frágeis e vulneráveis, como o semiárido, mudanças climáticas mais drásticas podem ocorrer, como fluxo de marés altas ou mesmo de tempestades que podem dificultar a drenagem das águas para o mar e causar o prolongamento de cheias ou inundações repletas de água poluída, agravando assim, problemas de saúde da população local (Priori Junior, 2014).

Tais alterações estão sendo provocadas pelo aumento das concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera, que são intensificados pelas atividades humanas (Ghini et al., 2008), causado pela soma das ações produzidas pelas concentrações de gases de efeito estufa (GEEs) (Santos, 2006). A concentração de GEEs na atmosfera tem aumentado acentuadamente desde a revolução industrial, o que levou a energização do efeito estufa e vem intensificando o aquecimento global (IPCC, 2014).

Os impactos ligados às tais mudanças estão sendo sentidos ao redor do mundo, possivelmente terão efeitos profundos, e também danos para a população humana (Nobre et al., 2011), com enormes danos econômicos prejudicando a agricultura com perdas parciais ou totais, podendo comprometer o abastecimento de água para a população devido à irregularidade de precipitações, com predominância de chuvas intensas e de curta duração (Silva et al., 2008), assim como causar forte impacto social aos habitantes de uma determinada região.

A velocidade e a magnitude das mudanças poderiam condenar à extinção muitas espécies, acarretando alterações ambientais que podem levar ao agravamento dos desastres. As mudanças climáticas aumentam o impacto provocado por processos socioeconômicos e culturais, como o crescimento populacional, a urbanização, a industrialização, o aumento do consumo de recursos naturais e da demanda sobre os ciclos biogeoquímicos (OPAS, 2014).

Visto a problemática apresentada, as análises espaciais de tendências permitem a observação das variações no comportamento das alterações climáticas e esclarecimento de informações de uma determinada variável em uma região que vem sofrendo transformações significativas ao longo do tempo. Isso ocorre porque estudar as alterações climáticas ocorridas no passado possibilita uma melhor compreensão das variabilidades inferidas no presente, além de subsidiar elementos para averiguação do comportamento do clima futuro (Penereiro e Orlando, 2013).

Alguns estudos com o objetivo de mostrar possíveis tendências temporais aplicaram satisfatoriamente o método de Mann-Kendall em variáveis ambientais, entre eles: nível de água (Zhang et al., 2009), temperatura média (Vincent et al., 2005; Karmeshu, 2012; Medeiros et al., 2018), precipitação (Grosso et al., 2008; Amazon et al., 2012; Karmeshu, 2012; Wanderley et al., 2018). Já Farias et al. (2012) e Duarte et al. (2015) classificaram eventos extremos de precipitação no Estado de Pernambuco, Brasil, a partir da técnica dos Quantis no intuito de relacioná-los aos desastres decorrentes.

A identificação nos locais que estão sofrendo tendência meteorológica possibilita estimar os possíveis detrimientos destas alterações nas atividades socioeconômicas, auxiliando os tomadores de decisão a respeito dos riscos possíveis. Diante do exposto, o trabalho analisou a climatologia relacionando com as tendências temporais significativas em séries históricas entre os anos de 1962 a 2017, para precipitação e temperatura média numa região litorânea do Piauí, Brasil.

## 2. Material e métodos

### *Área de estudo*

O município de Parnaíba (02° 58' 12.1" S e 41° 47' 38.2" W) (Figura 1) compreende uma área irregular de 431 km<sup>2</sup> e encontra-se inserido na microrregião litoral piauiense, mesorregião Baixo Parnaíba, limitando-se ao norte: município de Ilha Grande e o oceano Atlântico; ao sul: Buriti dos Lopes e Bom Princípio; a leste: Luís Correia e a oeste: Estado do Maranhão (Aguiar e Gomes, 2004).

Geograficamente, Parnaíba apresenta formações com depósitos de areias do Quaternário e Formação Barreiras (Santos-Filho, 2010). O clima de acordo com a classificação de Köpper é Megatérmico; com verão chuvoso e inverno quente; temperatura anual média de 27,5 °C (Santos-Filho, 2010; Santos-Filho et al., 2013). Os níveis anuais de precipitação situam-se entre 1.000 e 1.600 mm.ano<sup>-1</sup> (Lima et al., 2017). A vegetação é formada por florestas de Tabuleiros (planície costeira florestas em depósitos terciários), restingas em região de solo Neossolo Quartzarênico (Santos-Filho et al., 2013), além de ser formada por espécies herbáceas que recobrem as dunas (pleistocénicas); arbustos (fruticeto) próximos ao mangue; campos herbáceos abertos e fechados inundáveis a não inundáveis (Santos-Filho, 2010).

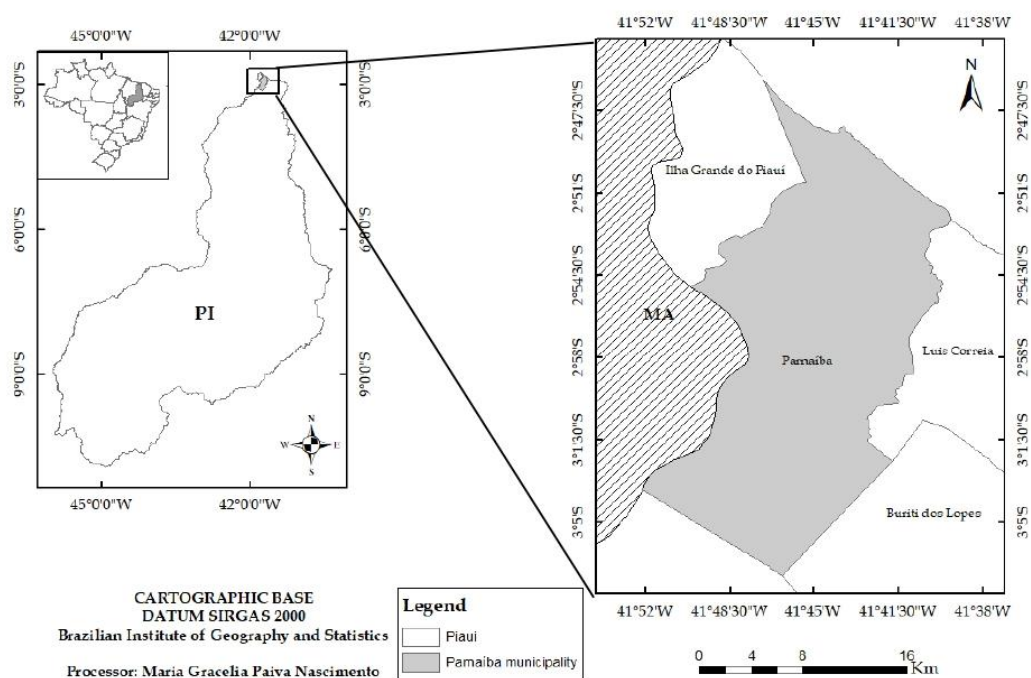


Figura 1 - Localização do município de Parnaíba, Piauí, Brasil.

#### Coleta e análise dos dados

Foram selecionados dados históricos de precipitação pluviométrica e temperatura de quatro Estações meteorológicas (82287; 241001; 241002; 341000), distribuídos pelo município de Parnaíba - Piauí, referentes ao período de 1962 a 2017. Esses dados foram obtidos nos postos pluviométricos, no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) e a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018).

Os dados pluviométricos utilizados contemplam 55 anos, de acordo com *World Meteorological Organization* – WMO, o clima de uma região pode ser caracterizado por um período mínimo de 30 anos, pois quanto maior o período, maior será a credibilidade da distinção climática da região. Estas apresentam séries históricas longas suficientes para serem classificadas quanto à variabilidade climática, e são distribuídas uniformemente para o município de estudo (WMO, 2019).

Para o desenho meteorológico utilizou-se a variável “precipitação pluviométrica”, onde parâmetros foram utilizados como: os índices mensais calculados em um mês, levou em consideração não existirem mais de três dias faltosos; os valores anuais foram calculados se em um ano que não houvesse mais de 15 dias faltando; não utilizou-se dados com valor anual quando algum mês estivesse faltando; para os indicantes de temporada

pode-se continuar no ano seguinte e esta foi contada no ano em que a temporada/série termina.

Os dados foram organizados em planilhas e tabulados no programa *Microsoft Office Excel* 2016, posteriormente foram confeccionados gráficos e tabelas, realizadas análises do comportamento de variabilidade quanto a precipitação, temperatura média e ocorrência de tendência por utilização dos parâmetros plúvio climáticos.

Para categorizar as estações chuvosas aplicou-se a técnica dos Quantis (Pinkayan, 1966; Xavier, 2002), sobre o recorte (1988-2017) da série pluviométrica para classificar os eventos extremos diários de precipitação e consideradas probabilidades contínuas relacionadas “variáveis chuvosas”. Em seguida foi realizado o somatório das precipitações dos meses componentes da estação chuvosa de cada ano e estimados os Quantis Q15, Q35, Q50, Q65 e Q85. Os Quantis foram obtidos a partir de cinco passos distintos, ordenadas a seguir: a) disponibilização dos dados  $y_j$  (precipitação) sendo  $N$  o número de observações; b) classificação crescente dos dados:  $y_1 < y_2 < \dots < y_j < \dots < y_N$ ; c) enumeração da ordem  $j$  em cada elemento da série; d) determinação da ordem quantílica  $p_j$  (percentil) correspondente a cada elemento da série por mediação da equação:

$$p_j = [j/(N+1)] * 100$$

e) calcula-se o Quantil  $Q(p)$  para uma “ordem quantílica”  $p$  qualquer, onde tem-se  $p_j = j/(N+1)$  e  $p_{j+1} = (j+1)/(N+1)$ , sendo  $Q(p) = y_j + \{[p - p_j] / [p_{j+1} - p_j]\} * [y_{j+1} - y_j]$

### 3. Resultados e discussão

Os períodos chuvosos para o município de Parnaíba concentram-se em cinco meses (janeiro a maio) enquanto o período seco corresponde a sete meses (junho a dezembro) (Gráfico 1). Essa distribuição de chuva está relacionada a sazonalidade dos sistemas atmosféricos e oceânicos que atuam principalmente por conta das baixas latitudes, por se tratar de um município litorâneo, apresentando um clima quente e úmido (Lima et al., 2017), onde há

estabilidades atmosféricas no período de inverno (seco), primavera e verão (chuvoso), e outono no período sazonal, corroborando com dados de Monteiro et al. (2012) para o estado do Rio Grande do Norte. Somados a isto, a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT é um dos principais sistemas responsáveis por precipitação pluviométrica nas baixas latitudes no território brasileiro (Diniz et al., 2014), comum em regiões localizadas em baixas altitudes, influenciada pela ZCIT, mecanismo dinâmico responsável pelas chuvas do semiárido entre fevereiro e maio, e os mínimos de precipitação atmosférica acontecem entre junho a setembro, quando a ZCIT migra para o hemisfério norte e se posiciona climatologicamente entre 4° a 5° N (Marengo et al., 2011).

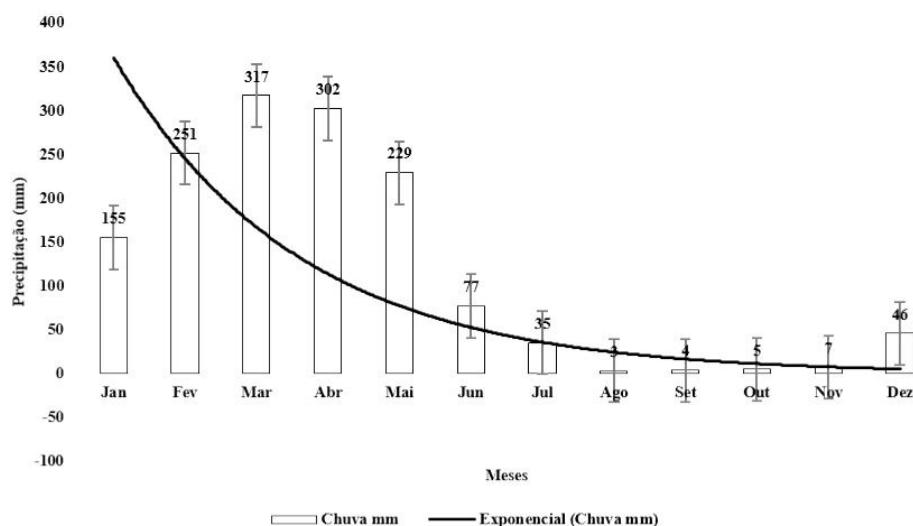


Gráfico 1 - Médias de precipitação (mm) ao longo dos meses de janeiro a dezembro, durante o período de 1962-2017 para o município de Parnaíba, Piauí.

Pode-se inferir que a queda (exponencial) da precipitação (Gráfico 1) mostra uma série histórica longa, em que os períodos secos e chuvosos se mantêm constantes e bem definidos, o que poderia denotar um decréscimo da precipitação em anos mais recentes, visto a mudanças nas correntes marítimas. Lacerda et al. (2015) relatam que cerca de 90% das chuvas da região ocorrem durante os meses de janeiro a maio e no decorrer dos anos essas precipitações vêm diminuindo devido aos efeitos climáticos, tais como o “El Niño” e “La Niña”. Além disso, tem-se o aumento de temperatura, na média de

34 °C no período correspondente ao inverno (seco) e primavera (Gráfico 2). Desta forma, os meses de agosto a novembro são os mais secos para a região, portanto são os que apresentam aumento de temperatura.

Quanto aos volumes diários de precipitação registrados entre 1962 a 2017, verifica-se que os anos de 1964, 1974 e 1985 foram os mais chuvosos da série, referindo-se à inundação (alta precipitação), sendo que a soma desses três valores foi equivalente a mais de 1000 mm.ano<sup>-1</sup> ao longo da série (Gráfico 2).

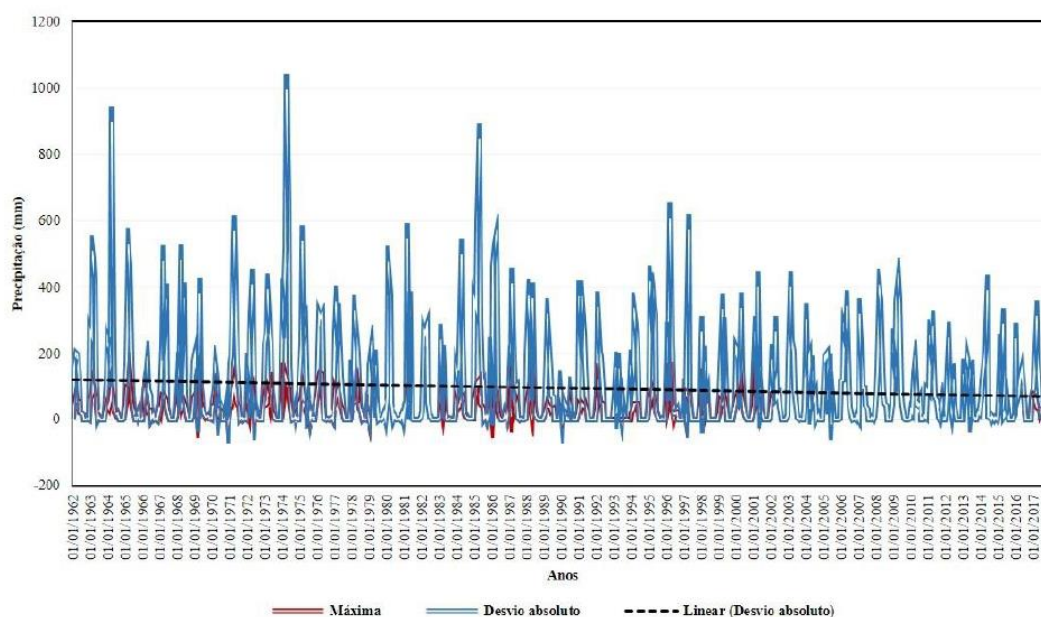


Gráfico 2 - Precipitação registrados, pelo INMET, entre 1962 a 2017 para o município de Parnaíba, PI.

Acredita-se que a diferença nos níveis de chuva registrado para Parnaíba nas décadas anteriores a 1985 esteja relacionado com a expansão urbana ocorrente na região na década de 80, impactando diretamente a flora e fauna (PBMC, 2014), minimizando com isto a infiltração, e desta forma contribuindo para o aumento da temperatura e maior evaporação. Nesse sentido, Moura (2016) relata que no Nordeste, existe uma grande interação do clima com a configuração e o uso do espaço, causando uma desorganização na dinâmica climática e contribuindo para a formação de ambientes climáticos diferenciados, gerando em cada cidade ou bairro o seu próprio “microclima”. Seguindo a mesma linha de raciocínio, Moura (2016) ainda comenta que a expansão urbana desordenada pode ser considerada também como uma das causas do agravamento desta situação, como o aumento dos desastres naturais (estiagens, erosão, inundações, etc.). Eventos como esse também foram notados por Antunes (2014) em que mostrou que a inundação ocorrida durante o período de 1979 a 1985, com auge em 1981, foi responsável por perdas de lavouras e famílias empregadas, e por Chaves et al. (2017), em que relataram inundações ocorridas na década de 1980, sendo que em 1985 várias cidades do Piauí a precipitação atingiu  $2.600 \text{ mm.ano}^{-1}$ , acarretando enormes prejuízos, sentidos inclusive na cidade de Parnaíba.

Verificando as somas totais das precipitações ao longo dos anos, observa-se que em meados de 1974 houve acúmulo no montante de precipitação (mm), contrapondo a tendência para a região, em que

anos posteriores foram bem mais amenos (Gráfico 3).

Período de secas prolongadas no Nordeste após grandes enchentes e algumas evidências de mudanças locais no desempenho da precipitação pluviométrica ao longo do tempo, possibilita inferir que em anos recentes as secas estão sendo mais expressivas, embora tenha sido constatada uma diminuição da tendência em eventos de chuvas atuais na série (Gráfico 3).

Os resultados obtidos se assemelham aos de Monteiro et al. (2012), os autores estudaram uma série histórica no período de 1980 a 2009 na região do baixo curso do rio Apodi-Mossoró no ano de 1985 registraram valor anual extremo de chuvas na série histórica ( $2.242,1 \text{ mm}$ ), e diversos impactos negativos na população na ocasião do período chuvoso ( $137,4 \text{ mm}$ ) no ano de 1983, em que resultou em seca catastrófica para a região, prejudicando a população de Mossoró e cidades próximas daquela região, principalmente as atividades agropecuárias, além da falta de água para abastecer as atividades produtivas.

Quando se trata dos maiores valores de precipitação referentes aos dias, tem-se 01 abril de 1974 ( $977,5 \text{ mm.ano}^{-1}$ ), 01 abril de 1964 ( $879,7 \text{ mm.ano}^{-1}$ ) e 01 abril de 1985 ( $826,6 \text{ mm.ano}^{-1}$ ) com os valores mais expressivos para o município (Tabela 1). Tais resultados podem estar ligados à eventos de maior vulnerabilidade, ocasionando problemas com drenagem, como alagamentos e empenhos de obras hidráulicas, principalmente nas áreas urbanas (Silva et al., 2017).

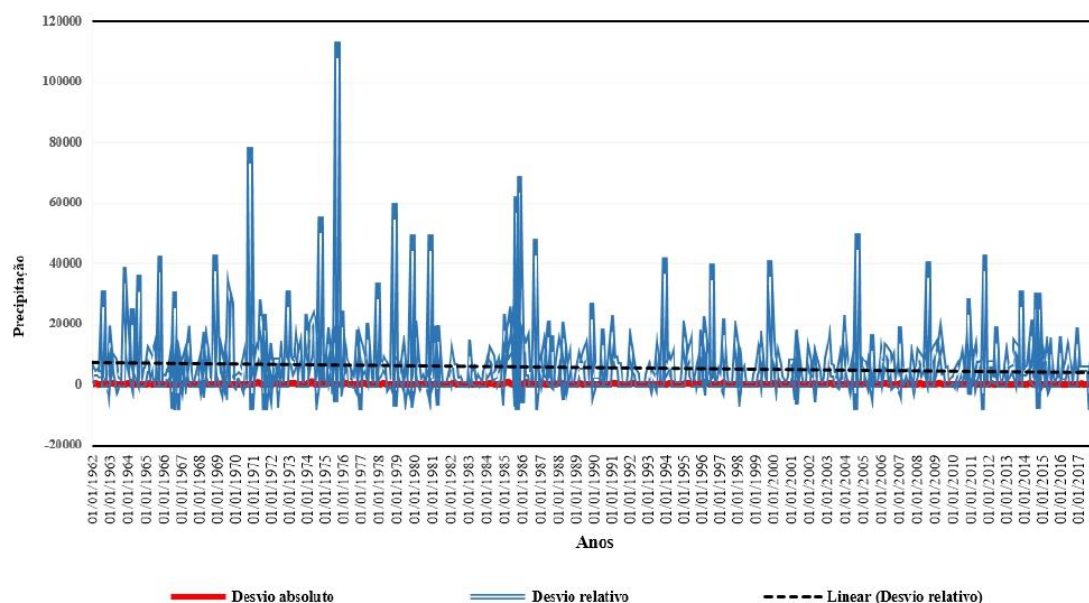


Gráfico 3- Somas totais das precipitações ao longo dos anos para o município de Parnaíba, PI.

Tabela 1 - Dados das maiores médias diárias totais de eventos de precipitação para a série climatológica de 1962-2017 para o município de Parnaíba, Piauí, Brasil.

Precipitação (mm)	Data
977,5	01/04/1974
879,7	01/04/1964
826,6	01/04/1985
658,7	01/05/1974
605,5	01/03/1985
589	01/03/1996
554	01/04/1997
553,6	01/04/1986
550,8	01/04/1971
535	01/03/1986
528,3	01/03/1981
521,4	01/03/1975
520,1	01/03/1974
511,9	01/03/1965
491,4	01/03/1963

Wanderley et al. (2018) observaram maiores volumes diários de precipitação registrados entre 1961 e 2016 em Recife, em 11 de agosto de 1970 (335,8 mm) e no dia 24 de maio de 1986 (235 mm), no entanto, esses dados foram diferentes ao realizado nesse estudo, pois o período das chuvas para o município de Parnaíba diminuem em virtude

do início do período seco para o Piauí. Verificou-se que em dados históricos mais recentes (1988-2017) para o município de Parnaíba, há períodos classificados como “muito chuvoso”, nos anos de 1988 e 1991, com a média anual de  $1410,8 \text{ mm.ano}^{-1}$  e  $1433,5 \text{ mm.ano}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores classificatórios da série (1988-2017) para p município de Parnaíba, Piauí, de acordo com os valores estabelecidos para cada classe Quantis.

Ano	Média anual	Valores estabelecidos para Quantis	Classes Quantis	Classificação
2010	637,9	653,65	Q (0,15)	Muito seco
1993	661,9	653,65	Q (0,15)	Muito seco
2016	878,9	882,31	Q (0,35)	Seco
2002	882,8	882,31	Q (0,35)	Seco
2004	994,4	997,28	Q (0,50)	Normal
1997	1000	997,28	Q (0,50)	Normal
2000	1054,9	1055,22	Q (0,65)	Chuvoso
1994	1057	1055,22	Q (0,65)	Chuvoso
1988	1410,8	1419,3	Q (0,85)	Muito chuvoso
1991	1433,5	1419,3b	Q (0,85)	Muito chuvoso

No estudo de Monteiro et al. (2012) com dados correspondente à série histórica no período de 1980 a 2009 da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN, na região do baixo curso do rio Apodi-Mossoró, utilizando a técnica dos Quantis, por meio da metodologia proposta por Pinkayan (1966) e Xavier (2002; 2007), o valor aproximado anual de chuvas foi de 642,8 mm, sendo que os intervalos estabelecidos para cada classe extrema indicaram valores abaixo de 299,2 mm, considerados como “muito seco” e acima de 1.059,6 mm como “muito chuvoso”, no ano de 1985 corresponde ao valor anual extremo de chuvas na série histórica (2.242,1 mm), tendo um desvio positivo em relação ao Quantil estabelecido para a classe muito chuvoso (1059,6 mm) de 1.187 mm. Por outro lado, o ano de 1983 apresentou 137,4 mm, referente a uma seca desastrosa.

Wanderley et al. (2018) analisando a precipitação diária no período de 1961 a 2016 para a cidade de Recife, registraram média pluviométrica anual de 2.292,9 mm, com desvio padrão de 482,5 mm. A climatologia dos eventos extremos de precipitação diária para Recife demonstrou que as maiores frequências absolutas dos Quantis de chuva forte, concentradas entre os meses de março a julho, e os meses de junho e julho, registradas a maior ocorrência desses eventos, com 269 e 250 mm, respectivamente. Já os meses de outubro a dezembro apresentaram menor registro de chuvas diárias, muito fortes ( $25 < X < 50$  mm) ou extremamente fortes ( $X > 50$  mm).

Sobre as secas, tem-se os dados de 2010, onde as médias foram de 637,9 mm.ano-1. Lima et al. (2017), com dados históricos climáticos ligado a seca no período de 2010-2016, ocorrente em Parnaíba, os autores classificaram esses anos como

períodos mais severa de seca dos últimos 100 anos, para a região. Medeiros et al. (2016) analisando o comportamento das condições climatológicas em Bom Jesus - PI, salientam que o cenário futuro é pessimista, sugerindo uma redução de até 20% na precipitação e até 4 °C na temperatura média do ar.

Conforme a Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS (2014), os impactos causados por desastres naturais na população nordestina, no período de 20 anos, registraram que a estiagem e a seca foram as que mais afetaram as pessoas, sendo responsáveis por 7% do total de óbitos no país e 0,33% da morbidade.

Resultados semelhantes são encontrados em diversos estudos, indicam que na última década ocorreram os anos mais quentes já registrados e também aumento na ocorrência de eventos extremos. Conforme o Instituto Goddard de Estudos Espaciais - GISS, os dados de temperaturas médias mais elevadas ocorreram após o ano 2000, 2005 e 2010 (Gráfico 4). À medida que a temperatura do ar da Terra aumenta, mudam os padrões pluviiais e eventos climáticos extremos (como secas, inundações e incêndios florestais) se tornam mais frequentes (PBMC, 2014).

Visto aos resultados referentes ao período mais seco, pode-se inferir que o aumento de focos de queimadas que ocorreram no estado do Piauí pode estar relacionado aos períodos que apresentaram maiores números de estiagem. Tal constatação pode ser observada nas séries históricas do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência entre os anos de 1998-2017 (Gráfico 4) nos dados do Monitoramento dos Focos Ativos nos estados do Brasil: Piauí do CPTEC, em que ocorreram avanços dos focos de queimadas a partir do ano de 2002, aumentando consideravelmente no ano de 2010. Este período corresponde os anos mais

secos, salientando-se ainda que os números de incêndios crescem a partir dos meses de junho a dezembro, meses

esses que compreendem ao período de estiagem.

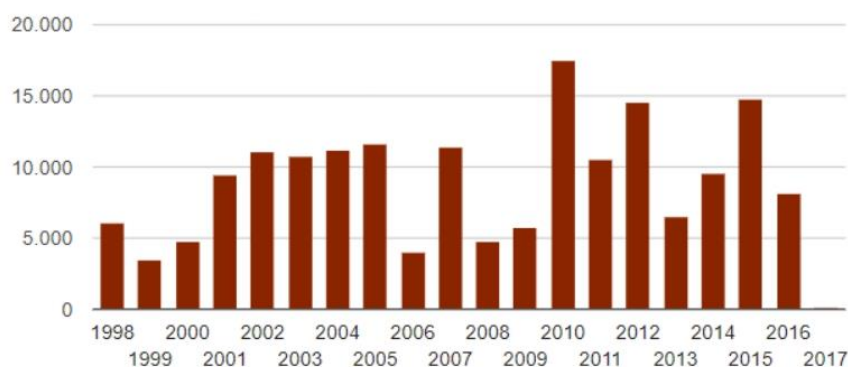


Gráfico 4 - Série histórica do total de focos ativos detectados pelo satélite de referência dos dados do Monitoramento dos Focos Ativos nos estados do Brasil: Piauí do CPTEC entre os anos de 1998-2017.

Andrade (2016) salientou que de acordo com dados do monitoramento por satélite do Programa de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe, o Piauí ocupa a terceira posição entre os estados com mais registros de focos de incêndios, perdendo apenas para os estados do Maranhão e Pará.

Silva et al. (2017) ressaltam que períodos longos de estiagens podem provocar vários eventos de queimadas, causando uma série de impactos, entre eles: risco à vida humana, poluição do ar com implicações negativas à saúde, prejuízos em áreas agricultáveis, danos à biodiversidade, alterações em ecossistemas terrestre e lacustres, perda de bens materiais, na agricultura industrializada e na família. Além disso, as queimadas e efeitos de inversões térmicas que concentram a poluição, as alterações de temperatura, umidade e regime de chuvas influenciam a qualidade do ar, principalmente nas áreas urbanas, agravando as doenças respiratórias e alterando as condições de exposição aos poluentes atmosféricos (PBMC, 2014).

Estudos evidenciam que os desastres, afetam principalmente as populações e países mais pobres, devido as condições latentes de vulnerabilidade socioambiental que se encontram relacionadas às desigualdades sociais, econômicas e ambientais. Essas desigualdades se materializam, nas populações expostas a estes eventos, nas consequências mais graves na saúde, nas condições de vida, na baixa capacidade de governança para estratégias de redução do risco e construção da resiliência (OPAS, 2014).

Uma estimativa de vulnerabilidade das populações brasileiras apontou o Nordeste como a região mais sensível a mudanças climáticas devido aos baixos índices de desenvolvimento social e econômico (Confalonieri, 2005), devido a esses

fatores ficam evidentes que as populações mais pobres serão as mais atingidas pelas alterações de clima. Daí a necessidade de apoio de trabalhos que busquem fortalecer pesquisas científicas com forte aderência nas questões relativas a recursos naturais à socioeconômica (PBMC, 2014).

Moura (2016) pontua que as ações voltadas à sustentabilidade, podem ajudar com melhorias necessárias (âmbitos social, ambiental e econômico) nas cidades afetadas para a estabilização do clima. A ausência de aplicação do desenvolvimento sustentável podem ser consideradas como um dos principais motivos da maximização relativa às causas e efeitos das mudanças climáticas na região. Assim, ações com vertente ambiental desempenharia papel de destaque no processo, subsidiando a formação de indivíduos conscientes da importância de novos hábitos de consumo, embora ela não constituísse a solução de todos os problemas, passaria a ter novo significado, com impactos importantes para a construção da sustentabilidade econômica de uma sociedade justa, capaz de ser efetivamente solidária em relação à geração presente e às futuras (PBMC, 2014).

#### 4. Conclusões

Do presente estudo, verificou que as avaliações das tendências ligadas a climatologia para Parnaíba possibilitaram a constatação de algumas tendências climáticas locais e até mesmo para o Estado, tais como período mais seco, maiores números de estiagem entre os anos de 1998-2017, levando ao aumento de focos de queimadas para estado do Piauí. Observou-se ainda a aceleração e diminuição hídrica, visto o declínio da precipitação em anos mais

recentes (2010) quando comparados a dados antigos (1964), levando a concluir que eventos climáticos e até mesmo ação antrópica estejam contribuindo para este cenário em escala local. Neste sentido, pode-se inferir que as secas estão mais longas, e assim que as tendências climatológicas para o município de Parnaíba existem, tendo como consequência a redução hídrica, devido ao período com anos secos estarem cada vez mais longos, sugere-se que podemos considerá-las com impactos das mudanças climáticas globais.

## Referências

- Aguiar, R.B., Gomes, J.R.C (org.), 2004. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado do Piauí: diagnóstico do município de Parnaíba. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza.
- Amazon, M.R.M., Borges, C.K., Vieira, L.J.S., 2012. Precipitation climatological analysis in the municipality of Bananeiras - PB, in the period 1930-2011 as contribution to Agroindustry. Green Paper on Agroecology and Sustainable Development 2, 10.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2018. Disponível: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/monitoramento>. Acesso: 21 dez. 2018.
- Andrade, A.J.P., Silva, N.M., Souza, C.R., 2014. As percepções sobre as variações e mudanças climáticas e as estratégias de adaptação dos agricultores familiares do Seridó potiguar. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 31, 77-96.
- Andrade, P., 2016. Alto número de queimadas no Piauí leva governo a decretar emergência. Disponível: <http://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2016/10/alto-numero-de-queimadas-no-piaui-leva-governo-decretar-emergencia.html>. Acesso: 14 jul. 2018.
- Antunes, L., 2014. Os 10 maiores períodos de seca do Brasil. Disponível: [www.super.abril.com.br/blog/superlidas/-10-maiores-peri](http://www.super.abril.com.br/blog/superlidas/-10-maiores-peri). Acesso: 15 nov. 2018.
- Blain, G.C., 2010. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: Variações e tendências climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 114-124.
- Chaves, S.V.V., Tavares, A.C., Andrade, C.S.P., 2017. Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí e ações mitigadoras do Poder público. *Sociedade e Território* 29, 175-197.
- Confalonieri, U.E.C., 2005. Mudanças climáticas e saúde humana, in: Poppe, M.K., La Rovere, E.L. (coord.), *Mudança do Clima*. Brasília, pp 166-171. (Cadernos NAE, 3).
- Diehl, F.P., Spinola, J.L., Azevedo, N.T., 2010. Mudanças climáticas globais e os impactos físicos e biológicos na zona costeira: Uma proposta de classificação, in: Dantas, M.B., Séguin, E., Ahmed, F. (org.), *O Direito Ambiental na Atualidade*. Lumen Juris Ltda., Rio de Janeiro, pp.127-134.
- Diniz, M.T.M., Medeiros, S.C.M., Cunha, C.J., 2014. Sistemas atmosféricos atuantes e diversidade pluviométrica em Sergipe. *Boletim Goiano de Geografia* 34, 17-34.
- Duarte, C.C., Nóbrega, R.S., Coutinho, R.Q., 2015. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município de Ipojuca, Pernambuco. *Revista de Geografia (UFPE)* 32, 158-176.
- Farias, R.F.L., Alves, K.M.A.S., Nóbrega, R.S., 2012. Climatologia da ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesorregião do Sertão Pernambucano. *Revista Geonordeste* 1, 930-941.
- Ghini, R., Hamada, E., Bettio, W., 2008. Climate change and plant diseases. *Scientia Agricola* 65, 98-107.
- Grosso, J.D., Moraes, J.M. de, Beduschi, C.E., Genovez, A.M., Martinelli, L.A., 2008. Trend analysis of water quality in some rivers with different degrees of development within the São Paulo State, Brazil. *Rivers Research and Applications* 1, 1-2.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. Banco de Dados para Pesquisa e Ensino – BDMEP. Disponível: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso: 20 ago. 2018.
- Insaf, T.Z., Lin, S., Sheridan, S.C., 2012. Climate trends in indices for temperature and precipitation across New York State, 1948-2008. *Air Quality, Atmosphere, and Health* 6 247-257.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Pachauri, R.K., Meyer, L.A. (eds.). IPCC, Switzerland.
- Karneshu, N., 2012. Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test - A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States. Master's thesis. University of Pennsylvania. Filadélfia, Penn.
- Lacerda, F.F., Nobre, P., Sobral, M.C. Lopes, G.M.B., 2015. Alterações climáticas globais: uma realidade em Pernambuco, in: *Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma*, Recife.
- Lima, M.G.de, Salviano, A.A.C., Santana, F.F., Feitosa, S.M.R., 2017. Secas de 2010 a 2016 no Piauí: impactos e respostas do Estado em



- articulação com os programas nacionais. *Parcerias Estratégicas* 22,155-180.
- Marengo, J.A., Tomasella, J., Nobre, C.A., 2011. Mudanças climáticas e recursos hídricos, in: Bicudo, C.E.deM., Tundisi, J.G., Scheuenstuhl, M.C.B. (eds.). *Águas do Brasil: análises estratégicas*. ABC, Rio de Janeiro.
- Medeiros, R.M., Holanda, R.M., Vilar, H.N., 2018. Climate Change in Tacaimbó-PE, Brazil. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 8, 60-66.
- Medeiros, R.M., Silva, V.M.A., Melo, V.S., Menezes, H.E.A., 2016. Diagnosis and trend rainfall in Bom Jesus - Piauí, Brazil. *Revista verde* 11, 115-121.
- Monteiro, J., Rocha, A., Zanella, M., 2012. Técnica dos Quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): baixo curso do Apodi-Mossoró/RN. *Revista do Departamento de Geografia* 23, 232-249.
- Moura, D.M.S., 2016. Panorama geral sobre a expansão urbana e a influência nas mudanças climáticas: do âmbito mundial ao nordeste brasileiro, in: Araújo A.R., Belchior G.P.N., Viegas, T.E.S. *Os impactos das mudanças climáticas no Nordeste brasileiro*. Fundação Sintaf, Fortaleza, Instituto o Direito por um Planeta Verde, São Paulo, pp. 35-56.
- Nobre, C.A., Young, A.F., Saldiva, P.H.N., Orsini, J.A.M., Nobre, A.D., Ogura, A.T., Thomaz, O., Párraga, G.O.O., Silva, G.C.M.da, Valverde, M., Silveira, A.C., Rodrigues, G.deO., 2011. Vulnerability of Brazilian Megacities to Climate Change: the São Paulo Metropolitan Region (RMSP). *Climate Change in Brazil: economic, social and regulatory aspects*. IPEA 1, Brasília, pp. 197- 219.
- Nunes, C.R.P., 2016. As mudanças climáticas a partir da implantação de empresas de capital estrangeiro no Nordeste: Estado regulador?, in: Araújo, A.R., Belchior, G.P.N., Viegas, T.E.S. (orgs). *Os impactos das mudanças climáticas no Nordeste brasileiro*. Fundação Sintaf, Fortaleza, Instituto O Direito por um Planeta Verde, São Paulo.
- OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde, 2014. Ministério da Saúde. *Desastres Naturais e Saúde no Brasil*. OPAS, Ministério da Saúde, Brasília, DF. (Série Desenvolvimento Sustentável e Saúde, 2).
- PBMC. Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2014. Sumário Executivo do GT2. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil.
- Penreiro, J.C., Orlando, D.V., 2013. Análise de tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba entre os Estados do Maranhão e Piauí/Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica* 7, 5-21.
- Pinkayan, S., 1966. Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. State University, Boulder-Co, Colorado. (Hydrology Papers, 12).
- Priori, J.R.L., 2014. Mudanças Climáticas e possíveis impactos nas cidades costeiras do Nordeste brasileiro. Disponível: [http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc\\_mgr/479/Priori%20Jr.%202013.%20Possiveis%20impactos%20no%20nordeste%20brasileiro%20%28portug%29.pdf](http://research.fit.edu/sealevelriselibrary/documents/doc_mgr/479/Priori%20Jr.%202013.%20Possiveis%20impactos%20no%20nordeste%20brasileiro%20%28portug%29.pdf). Acesso: 22 out. 2018.
- Rusz, O., 2012. Temperature and precipitation changes in Târgu-Mures (Romania) from period 1951-2010. *Aerul și Apa: Componente ale Mediului* 2012, 397-404.
- Santos, C.A.C., 2006. Estimativa e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba. *Dissertação (Mestrado)*. Campina Grande, UFCG.
- Santos-Filho, F.S., 2010. Restingas: e quando o vizinho não é a Floresta Atlântica? *Sapiência* 1, 40-40.
- Santos-Filho, F.S., Almeida Junior, E.B., Zickel, C.S., 2013. Do edaphic aspects alter vegetation structures in the Brazilian restinga? *Acta Botanica Brasilica* 27, 613-623.
- Silva, M.C.L. da, Mendonça, A.M., Bonatti, J.P., 2008. Determinação das previsões de temperaturas mínimas e máximas a partir do histórico das previsões de tempo por conjunto do CPTEC. *Revista Brasileira de Meteorologia* 23, 431-449.
- Silva, M.N.da, Tereza, A., Bezerra, D.daS., Pereira, L., Eloi, C.M.deA., Santos, A.L.S.dos, 2017. A seca no Maranhão no período de 2010 a 2016 e seus impactos. *Parcerias estratégicas* 22, 119-138.
- Vincent, L.A., Peterson, T.C., Barrosc, V.R., Marinod, M.B., Rusticuccic, M., Carrascoe, G., Ramirezf, E., Alvesg, T., Ambrizzih, L.M., Berlatoj, Grimmj, A.M., Marengog, J.A., Molionk, L., Moncunill, D.F., Rebellom, E., Anunciação, Y.M.T., Quintanan, J., Santoso, J.L., Baezp, J., Coronelq, G., Garciar, J., Trebejos, I., Bidegaint, M., Haylocku, M.R., Karolyv., D., 2005. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. *Journal of Climate* 18, 5011-5023.
- Wanderley, L.S.deA., Nóbrega, R.S., Moreira, A.B., Anjos, R.S.dos, Almeida, C.A.P.de, 2018. As chuvas na cidade de Recife: uma climatologia de extremos. *Revista Brasileira de Climatologia* 14, 149-164.

- WMO. World Metereological Organization, 2019. Disponível:  
[https://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](https://www.wmo.int/pages/index_en.html).  
Acesso: 10 fev. 2019.
- Xavier, T.deM. B.S., Xavier, A.F.S., Alves, J.M.B., 2007. Quantis e eventos extremos: aplicações em ciências da terra e ambientais. RDS, Fortaleza.
- Xavier, T.deM.B.S., 2002. A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras. Thesaurus, Brasília.
- Zhang, W., Yan, Y., Zheng, J., Li, L., Dong, X., Cai, H., 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change* 69, 35-47.

