

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de **30/11/2025**.

ANÁLISE ESPACIAL DOS DEPÓSITOS
SEDIMENTARES COSTEIROS HOLOCÊNICOS
DAS FLORESTAS DE MANGUE: UMA
ABORDAGEM GEOCRONOLÓGICA-
PALINOLÓGICA INTEGRADA

ANA LUISA CAVICHIOLE FERREIRA D'ANGELO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Biociências Câmpus do Litoral
Paulista



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA

ANÁLISE ESPACIAL DOS DEPÓSITOS
SEDIMENTARES COSTEIROS HOLOCÊNICOS DE
MANGUE: UMA ABORDAGEM
GEOCRONOLÓGICA-PALINOLÓGICA INTEGRADA

ANA LUISA CAVICHIOLE FERREIRA D'ANGELO

MILENE FORNARI

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biociências, Campus do Litoral Paulista,
UNESP, para obtenção do título de
Mestra no Programa de Pós-Graduação
em Biodiversidade de Ambientes
Costeiros.

SÃO VICENTE - SP
2023

D999a D'Angelo, Ana Luisa Cavichiole Ferreira
Análise Espacial dos Depósitos Sedimentares Costeiros
Holocênicos de Mangue: Uma Abordagem
Geocronológica-Palinológica Integrada / Ana Luisa Cavichiole
Ferreira D'Angelo. -- São Vicente, 2023
81 p. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Biociências, São Vicente
Orientadora: Milene Fornari

1. Vegetação Costeira. 2. Herbácea. 3. Várzea. 4. Clima. 5. Nível do
Mar. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Prof.^a Dr.^a. Milene Fornari, minha orientadora de vida e acadêmica. Agradeço pelo apoio e disponibilidade incondicional, pela compreensão por tantas dilacões, por todos os aconselhamentos assertivos e estímulos permanentes, esse último sem dúvida, mudou todo o rumo da minha vida para melhor. Sou imensamente grata por tudo.

Ao laboratório de Dinâmica Evolutiva e seus integrantes: Ana Fortes, Isabela Furlan, Matheus Henrique, Pryscilla Camargo, Bié Fortes e Nicole Freitas.

Ao Prof.^o. Marlon França, Fernando Erthal, Thiago Santos, Giselle Utida e Yoannis Dominguez pela ajuda e atenção.

A minha psicóloga Carolina Gonçalves Soares, você é uma das responsáveis pelo meu desenvolvimento profissional e emocional. Não tenho nem palavras para tamanha gratidão.

E a todos os meus amigos, em especial ao Guilherme e Carla, amigos de longa data, que mesmo distante sempre se fizeram presente por mensagens, ligações e visitas.

E, finalmente agradeço, à minha família:

Aos meus pais, Nelson e Maria por todo amor incondicional e apoio emocional e financeiro. Espero poder estar dando muito orgulho, tudo é por vocês.

Aos meus irmãos, Fernando e Rodrigo, e a minha cunhada Keila, pelas ajudas e conversas.

Ao meu marido, por todo o companheirismo, apoio e principalmente paciência e compreensão.

Aos meus sogros, por sempre fazer eu me sentir da família e tornar a sua casa o meu refúgio.

Ao meu tio Hudson, que mesmo distante hoje, fez parte de toda a minha trajetória, onde guardo lindas memórias.

Muito obrigada a todos

RESUMO

A dinâmica das florestas de mangue da costa brasileira durante o Holoceno foi controlada pela interação de fatores complexos, com destaque para variações do nível relativo do mar (NRM) e mudanças climáticas. Estudos de evolução das florestas de mangue são realizados de forma isolada. Isto é, para algumas regiões geográficas específicas e/ou com base em intervalos de tempo do Holoceno, o que não permite discutir as mudanças das florestas de mangue para a costa brasileira como um todo. Portanto, o objetivo deste estudo é caracterizar os processos de instalação e da dinâmica das florestas de mangue a partir da integração de dados de frequência relativa de polens e idades ^{14}C e inferir os processos controladores da expansão e retração dos manguezais para a costa brasileira. Assim, a partir de uma revisão bibliográfica de artigos publicados entre 1996 e 2022, foram coletados dados de frequência relativa de pólen e datações ^{14}C para os depósitos holocênicos com registro de polens de mangue. A integração dos resultados permitiu diferenciar três fases durante o Holoceno para as florestas de mangue: 1) instalação e expansão entre 10.0 ka cal AP e 5.0 ka cal AP; 2) retração entre 5.0 ka cal AP e 2.0 ka cal AP e 3) nova expansão, entre 2.0 ka cal AP até o presente. A fase de instalação e expansão, registra o início das florestas de mangue com o gênero de *Rhizophora*. Esta fase relaciona-se com a subida de NRM, condições climáticas mais secas e anomalias de temperaturas da superfície da água com tendência de aumento da Corrente Norte do Brasil ($\sim 1^\circ\text{C}$) e da Corrente do Brasil (0.5°C). A fase de retração caracteriza-se pela diminuição das florestas de mangue e incide com a queda do NRM e da precipitação, com valores de $\delta^{18}\text{O}$ menos negativos bem como tendência de diminuição da temperatura da superfície do mar na Corrente do Brasil, atingindo até $\sim -0.1^\circ\text{C}$ e aumento da temperatura da superfície do mar da Corrente Norte do Brasil, até $\sim 1.3^\circ\text{C}$. O período de 2.0 ka cal AP até o presente caracterizada como fase de nova expansão das florestas de mangue, com o aparecimento do gênero *Laguncularia* na região Sudeste, bem como os primeiros registros de polens de mangue na região Sul durante o Holoceno, representados pelo gênero de *Laguncularia* e posteriormente *Avicennia*. O novo período de expansão das florestas de mangue pode ser relacionado ao aumento do nível do mar global em toda a costa brasileira. Na região norte e nordeste outro fator que pode ter influenciado na nova expansão é o aumento da temperatura superficial da água da Corrente Norte do Brasil em até $\sim 1.5^\circ\text{C}$. Já para a região sudeste e sul os dados da temperatura superficial da água diminuem em até $\sim -0.4^\circ\text{C}$. Enquanto os valores de $\delta^{18}\text{O}$ mantém-se constantes na região sudeste sugerindo que a precipitação não se alterou e na região sul os valores de $\delta^{18}\text{O}$ mais negativos sugerem aumento da precipitação.

Palavras-chave: Pólen, Datação ^{14}C , Vegetação Costeira, Nível Relativo do Mar, Clima.

ABSTRACT

A dynamics of Brazilian coastal mangrove forests during the Holocene was controlled by the interaction of complex factors, with emphasis on variations in relative sea level (RSL) and climate changes. Studies on mangrove forest evolution are often conducted in isolation, focusing on specific regions and/or Holocene phases, preventing a comprehensive discussion of mangrove changes along the entire Brazilian coast. Therefore, the objective of this study is to characterize the establishment and dynamics of mangrove forests by integrating data on relative pollen frequency and published geochronological information for the Brazilian coast, inferring the controlling processes of spatial and temporal expansion and contraction of mangroves. Through a literature review of articles published between 1996 and 2022, relative pollen frequency and ^{14}C dating data were collected for Holocene deposits containing mangrove pollen records. The analysis of compiled data allowed the inference of three phases during the Holocene for mangrove forests: 1) establishment and expansion between 10.0 and 5.0 cal ka BP; 2) retraction between 5.0 and 2.0 cal ka BP; and 3) new expansion from 2.0 cal ka BP to the present. The establishment and expansion phase mark the onset of mangrove forests with the genus *Rhizophora*. This phase is associated with rising RSL, drier climatic conditions, and anomalies in sea surface temperatures. This represent of the North Brazil Current (NBC) of the 0.1°C and the Brazil Current, with a in sea surface temperature in the North Brazil Current ($\sim 1.3^{\circ}\text{C}$). The period from 2.0 cal ka BP to the present represents the last phase, characterized as a new expansion of mangrove forests, witnessing an increase in mangrove forests, including the appearance of the *Laguncularia* genus in the Southeast region, and the first records of mangrove pollen in the South region during the Holocene, represented by *Laguncularia* and later *Avicennia*. This new expansion period may be related to the global rise in sea level along the Brazilian coast. In the North and Northeast regions, another factor influencing the new expansion may be the increase in sea surface temperature of the NBC by up to $\sim 1.5^{\circ}\text{C}$. Meanwhile, in the Southeast and South regions, sea surface temperature data decrease by up to $\sim -0.4^{\circ}\text{C}$. Constant $\delta\text{O}18$ values in the Southeast suggest unchanged precipitation, while more negative $\delta^{18}\text{O}$ values in the South suggest increased precipitation.

Keywords: Pollen, Age14 C, Coastal Vegetation, Sea Level, Climate

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO.....	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA	10
2.1. Florestas de mangue da costa brasileira	10
2.2 Nível relativo do mar no Holoceno.....	14
3. META E OBJETIVOS	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1 Banco de dados.....	15
4.2 Processamento de dados	17
5. RESULTADOS	18
5.1 Dataset: pólen da vegetação costeira e cronologia	18
5.2 Ocorrência e distribuição espacial dos grupos ecológicos costeiros	19
5.3 Cronologia dos grupos ecológicos costeiros.....	20
5.4 Correlação entre grupos ecológicos e datações ¹⁴ C.....	22
5.5 Correlação entre gêneros de mangue e datações ¹⁴ C	26
6. DISCUSSÃO	27
6.1. Dinâmica das florestas de mangue e NRM.....	27
6.2. Dinâmica das florestas de mangue e clima	30
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	42
ANEXO 01.....	49
ANEXO 02.....	75

1. INTRODUÇÃO

Os manguezais são ecossistemas costeiros sob influência das marés e ocorrem em regiões tropicais e subtropicais (Schaeffer Novelli *et al*, 2016). As plantas de mangue englobam um grupo ecológico e heterogêneo definido por características ecológicas e fisiológicas adaptadas as zonas entremarés (Mori *et al*, 2015). Segundo West (1956) o manguezal se desenvolve em locais com características ambientais e climáticas específicas (temperatura $>20^{\circ}\text{C}$) ocupando substratos intermareais (lamoso) associados aos sistemas costeiros de baixa energia (e.g. estuários, lagunas e planície de maré). O desenvolvimento e expansão do manguezal estão condicionados às variações na amplitude de maré e, logo, influência de água salgada, pois as plantas de mangue são halófitas facultativas e dependem desse requisito para competir com as glicófitas que não toleram salinidade (Walsh, 1974). Por isso, mudanças no nível do mar em diferentes escalas temporais possuem papel essencial na formação das florestas de mangue. Estudos de reconstituição paleoambiental baseada na análise de dados de polens e geocronologia de depósitos sedimentares costeiros, mostram que as mudanças no nível do mar no Holoceno possuem papel fundamental na colonização das plantas de mangue em depósitos sedimentares de planícies intermareais ao longo do litoral brasileiro, com destaque para a região norte (e. g. Cohen *et al*, 2012; Guimarães *et al*, 2011; Behling *et al*, 2004), nordeste (e. g. Moraes *et al*, 2017; Figueiredo *et al*, 2021) e sudeste da costa brasileira (França *et al*, 2013; 2015; Cohen *et al*, 2014).

As espécies de mangue estão divididas em dois hemisférios globais, o Pacífico Indo-Oeste (IWP) e o Pacífico Oriental (AEP) (Duke, Ball, Ellison, 1998). O hemisfério IWP, contém 48 espécies distribuídas em 23 gêneros, um total de cinco vezes o número de espécies do hemisfério AEP, o qual é formado por 8 espécies de quatro gêneros (Duke, Ball, Ellison, 1998; Ricklefs *et al*, 2012). A diversidade de espécies nas regiões biogeográficas não é homogênea, e em geral, existe um aumento no número de espécies em direção ao equador (Ellison; Farnsworth; Merkt, 1999; Ricklefs *et al*, 2012). Esta diversidade é influenciada por fatores bióticos e abióticos (Duke, Ball, Ellison, 1998). Os fatores abióticos estão relacionados como a oceanografia, clima, topografia e condições do solo (Duke, Ball, Ellison, 1998). Já os fatores bióticos, como a dispersão efetiva limitada, estabelecimento de propágulos flutuantes de vida longa e tolerantes ao sal e o desenvolvimento embrionário contínuo sem dormência, os quais desempenham papéis importantes na manutenção das florestas de mangue (Mori *et al*, 2015).

A comunidade de mangue teria surgido na região do Mar de Tétis no Paleoceno/Eoceno, entre a Laurásia e Gondwana (Vans Steenis 1962; Mc Coy 1976;

Tomlinson 1986; Saenger, 1998; Duke *et al*, 1998; Ellison *et al*, 1999; Ellison *et al*, 2001). Dados genéticos e fósseis mostram que a alta diversidade de manguezais na região IWP é produto da ocorrência contínua de extensas áreas de plataforma continental, com ilhas espalhadas entre mares tropicais rasos, isolando populações de linhagens de manguezais incipientes em áreas dominadas por ambientes de mangue (Ricklefs *et al*, 2012). Isto teria favorecido a adaptação local não inibida pelo fluxo gênico de populações principalmente terrestres. Outro fator, são oscilações climáticas durante os ciclos glaciais-interglaciais do Quaternário tardio, as quais causaram extinções populacionais e mudanças de distribuição, pois espécies foram restritas em regiões onde o clima e o ambiente eram adequados para a sobrevivência (Hewitt, 2004a). Após o máximo glacial houve expansão populacional devido ao aquecimento progressivo do planeta (Nettel & Dodd, 2007; Pil *et al*, 2011). A expansão e contração dos manguezais podem estar associadas as mudanças de temperatura, uma vez que essa limita o desenvolvimento e estabelecimento de árvores de mangue (Duke *et al*, 1998; Krauss *et al*, 2008; Quisthoudt *et al*, 2012).

Estudos a partir de dados genéticos mostraram que na região do Atlântico-Pacífico-Caribe Leste (ACEP) as populações de *Rhizophora mangle* L. expandiram em direção ao Sul ao longo da costa brasileira desde o Último Máximo Glacial (LGM) (Pil *et al*, 2011). Por outro lado, a *Rhizophora mangle* tem baixa variabilidade genética ao longo da maior parte da costa brasileira (Pil *et al*, 2011). A baixa variabilidade observada para *Rhizophora mangle* na costa brasileira é especialmente evidente entre as populações do litoral norte (Pará e Maranhão) e as populações localizadas ao sul do Rio Grande do Norte (Pil *et al*, 2011). Evidências também mostram que as populações de *Avicennias germinans* L. da parte Norte da ACEP, expandiram desde o Último Máximo Glacial (Last glacial maximum- LGM) (Nettel *et al*, 2007). Para a costa brasileira, estudos com as duas espécies de *Avicennia* (*A. germinans* e *A. schaueriana*) indicam que as mesmas responderam de maneira diferente aos eventos dos últimos 20.0 ka cal AP. Por exemplo, a *Avicennia germinans* possui distribuição mais ampla com relação a *Avicennia schaueriana*, porém, apenas a *Avicennia schaueriana* é encontrada no Sul (Mori *et al*, 2015). Assim, a diferença da variabilidade genética dos gêneros de *Rhizophora* e *Avicennia* mostram evidências de dispersão de longa distância (DLD) (Takayama *et al*, 2013). O papel da DLD foi reavaliado em relação a hipótese biogeográfica de vicariância, analisando a diversidade de *Avicennia germinans*. Os dados foram consistentes com a hipótese de que a DLD é responsável pela ampla distribuição dessa espécie (Nettel & Dodd, 2007), e reforçam a importância da dispersão como um mecanismo biogeográfico no processo de extinção populacional e posterior recolonização (Nettel *et al*, 2007). Outro fator são as correntes marinhas superficiais, as quais podem controlar a distribuição da diversidade genética das espécies de mangue, principalmente no litoral brasileiro (Mori *et al*, 2015). No Estado do Rio

Grande do Norte, ocorre a bifurcação da corrente marinha Sul Equatorial em corrente Norte do Brasil (NBC) que se desloca em direção às Guianas, e corrente do Brasil (BC) que vai em direção ao sul do Brasil. O padrão dessas correntes pode explicar a diferenciação entre amostras provenientes das costas ao norte e ao sul do país (Pil *et al*, 2011; Takayama *et al*, 2013). As correntes associadas a corrente Norte do Brasil apresentam velocidades elevadas, sendo mais rápidas do que aquelas que deslocam rumo ao sul (Pil *et al*, 2011).

Frente a estas estratégias de abordagem a proposta desta Dissertação de Mestrado é discutir a dinâmica espacial das florestas de mangue da costa brasileira durante o Holoceno, em relação as mudanças do NRM e clima (interações atmosfera-oceano). Uma vez que os estudos de reconstrução das florestas de mangue ocorrem de maneira isolada, isto é para áreas geográficas específica da costa brasileira e/ou intervalos do Holoceno. Assim, espera-se contribuir para integração de informações sobre os potenciais fatores controladores das florestas de mangue e ampliar as discussões sobre a dinâmica das mudanças de vegetação da costa brasileira.

2. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

2.1. Florestas de mangue da costa brasileira

Os manguezais são ecossistemas costeiros que ocorrem nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (Ball 1980; Blasco *et al*, 1996; Schaeffer Novelli *et al*, 2016). São definidos como um grupo ecológico ou um complexo conjunto de árvores e espécies arbustivas resistentes a salinidade. O termo “mangue”, geralmente, é usado tanto para o gênero quanto para a espécie. Porém, as formações que dominam a linha de costa e que estão associadas ao substrato lamoso são conhecidas como manguezal (Chapman, 1976). O desenvolvimento dos manguezais exige fatores abióticos específicos como temperaturas médias anuais acima de 20°C e mínimas superiores a 15°C, além de pluviosidade acima de 1500 mm/ano e inundação periódica pela maré (Correia & Sovierzoski, 2005).

No Brasil o manguezal estende-se desde o litoral norte no Estado do Amapá (04°30'N), até Laguna, região Sul, no Estado de Santa Catarina (28°30'S) (Schaeffer-Novelli, 1995; Spalding *et al*, 2010; Giri *et al*, 2010; Simões & Oliveira, 2018). Os manguezais colonizam ambientes dominados por maré, como estuários, lagunas e planície costeiras (Schaeffer-Novelli *et al*, 1990), onde predomina a deposição de sedimentos finos (argila e silte) e matéria orgânica (Silva; Fornasari, 1992; Rossi; Mattos, 2002). Três gêneros de árvores de mangue ocorrem no Brasil, abrangendo seis espécies, *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *R. harrisonii*, *Avicennia schaueriana*, *A. germinans* e *Laguncularia racemosa* (Schaeffer-Novelli *et al*, 1990). Os três principais gêneros possuem o seguinte padrão de distribuição: *Rhizophora* predomina em áreas com maior influência das marés, locais topograficamente mais baixos (nível do mar)

e sob maior frequência e duração das inundações; as árvores de *Avicennia* e *Laguncularia* colonizam áreas mais elevadas, com menor frequência e duração das inundações pelas marés, sendo que *Laguncularia* tende a ser mais frequente em áreas de sedimentação mais recente (Schaeffer-Novelli *et al*, 1990).

Os manguezais brasileiros foram divididos em sete unidades fisiográficas e climaticamente similares (Cintrón-Molero *et al*, 2016; Shaeffer-Novelli *et al*, 2016). O primeiro segmento, no extremo norte da costa brasileira, entre o Cabo Oiapoque (limite entre o Estado do Amapá e Guiana Francesa, 4°30'N) e o Cabo Norte (Estado do Amapá, 1°40'N), insere-se na região de macro marés da costa brasileira, cujas amplitudes podem variar entre 4 e 6 m (Pugh, 1987). O clima da região é tropical chuvoso com temperaturas máximas de 34°C e mínimas de 21°C (Alves *et al*, 2016). Apenas a estação de verão e inverno são definidas, sendo as de inverno caracterizadas por chuvas intensas (~3.000 mm) sem ocorrência de temperaturas <17°C (Moraes & Moraes, 2000; Ab'Saber, 2001). As florestas de mangue na região do extremo norte do Brasil, são homogêneas e dominadas pelo gênero de *Avicennia*. Enquanto que o gênero *Rhizophora* ocupa margens de estuários sob influência marinha direta, porém a *Laguncularia* ocupam as partes internas das florestas, na porção mais abrigada e estendem-se por centenas de metros no sentido continente adentro (Schaeffer-Novelli *et al*, 1990).

No segundo segmento, entre o Cabo Norte, Estado do Amapá (01°04'N) e a Ponta Curuçá, no Pará (00°36'S), as amplitudes de maré são menores, variando entre 3,6 e 4,7 m, o que caracteriza um regime de meso e macro marés (DHN, 2003). Nesse segmento predomina o clima quente e úmido e temperaturas médias entre 25°C e 29°C (Lima *et al*, 2005). Devido a influência da descarga fluvial do rio Amazonas a salinidade é diluída, por isso, o desenvolvimento dos manguezais é escasso nessa região (Cohen *et al*, 2012; França *et al*, 2013; Guimarães *et al*, 2013). As florestas estão associadas aos bancos de lama de água doce dominando a foz do rio Amazonas. O gênero de mangue dominante nesse segmento é a *Avicennia*, porém onde a influência marinha é mais intensa, com inundações periódicas da maré, predomina o gênero *Rhizophora*. Também ocorrem várzeas de ambientes inundáveis da Amazônia. Entre as florestas de várzeas destacam-se espécies como: *Astrocaryum murumuru* Mart., *Euterpe oleracea*., *Virola surinamensis* (Roll.) Warb, *Carapa guianensis* Aublet (França, 2003). Ainda é característico do segundo segmento os campos naturais, sendo representados por espécies arbóreas e herbáceas, podendo ser do tipo limpo ou com aglomerados de palmeiras (Amaral *et al* 2007). Portanto, ao longo da linha de costa do segmento dois é comum uma mistura de plantas típicas de água doce e salgada, podendo predominar a primeira.

O terceiro segmento entre a Ponta de Curuçá, Estado do Pará (00°36'S) e a Ponta Mangues Secos no Estado do Maranhão (02°15'S), possui menor influência das descargas fluviais (Schaeffer-Novelli *et al*, 1990) e é dominado por macro marés semidiurnas, com altura média de 4,8 m e alturas máximas superiores a 5,5 m (DHN, 2015). O clima é caracterizado por tropical úmido, com período chuvoso (janeiro a julho) e seco (agosto a dezembro), com precipitação pluviométrica média anual variando de 2.500 a 3.000 mm. A temperatura média anual é de aproximadamente 25,7°C, variando ao longo do ano de 20,4°C a 32,8°C (Martoarano *et al*, 1993). Sobre a planície costeira ocorrem os grupos ecológicos de manguezais, campos herbáceos e campos arbustivos (Souza Filho *et al*, 2016). Nas florestas de mangue são comuns os gêneros *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*. As *Spartinas* colonizam ambientes deposicionais de baixa energia e o gênero *Conocarpus* é encontrado em zonas de transição para as terras altas (Schaeffer-Novelli, 1999).

O quarto segmento, está localizado entre a Ponta Mangue Seco, Estado do Maranhão (02°15'S) ao Cabo Calcanhar, Estado do Rio Grande do Norte (05°08'S). Esta região caracteriza-se pelo clima predominantemente semiárido, com média anual de precipitação de 800 mm. Possui raras descargas fluviais, sendo a média anual de 1.000 m³/s. Os manguezais são pouco desenvolvidos ao longo deste trecho da costa devido à falta de sistemas estuarinos e as estações secas prolongadas. Assim os manguezais acabam limitando-se a foz dos rios.

O quinto segmento, localiza-se entre o Cabo Calcanhar, Estado do Rio Grande do Norte (05°08'S) e o Recôncavo Baiano, Estado da Bahia (13°00'S). Esta região costeira está exposta a alta energia das ondas e a amplitude média das marés diminui de 1,7 para 1,3 em direção ao sul desse segmento (Schaeffer-Novelli *et al*, 1990). O clima é seco e sazonal (Schaeffer-Novelli *et al*, 1990). Na região norte da Bahia, destaca-se o rio Itapicuru que desagua no Atlântico, na região conhecida como Costa dos Coqueiros (norte da Bahia), e possui um fluxo influenciado pelas marés onde destaca-se a ocorrência de extensos manguezais. Na extremidade sul do quinto segmento os manguezais ocorrem associados a Baía de Todos os Santos, com predomínio de árvores de *Laguncularia*, colonizando solos arenosos-argilosos, enquanto que as plantas de *Rhizophora* ocupam as margens do sistema (Schaeffer-Novelli, 2016). *Avicennia* e *Laguncularia* também podem ser encontradas formando florestas marginais (Schaeffer-Novelli *et al*, 1990).

O sexto segmento, está localizado entre o Recôncavo Baiano, sul da Bahia (13°00'S) até Cabo Frio, Rio de Janeiro (23°00'S). Neste segmento a maré tem menores amplitudes (entre 2 e 4m), com clima quente e úmido e precipitação média anual de 1350 a 1400 mm (Peixoto & Gentry, 1990; Martorano *et al*, 2003). Na região de Porto Seguro o desenvolvimento de recifes mar dentro levou à formação de uma zona de baixa energia, favorecendo a deposição de sedimentos finos colonizado por floretas de mangue (Dominguez, 2009). Em

direção ao sul da Bahia, a área possui a presença de vales com planícies de inundação fluvial sob ação da maré (Martins *et al*, 1996). A região da Bahia é representada por seis principais bacias de drenagem, correspondendo aos rios Jucuruçu, Itanhaém (ou Alcobaça), Peruípe, Caraíva, Frades e Buranhem (Freire *et al*, 2020). Os rios Jucuruçu, Caraíva, Frades e Buranhem deságuam no oceano e associam-se com formação de estuários (Freire *et al*, 2020) o que interrompe a retilinidade do litoral, facilitando o desenvolvimento das florestas de mangue (Câmara do Vale *et al*, 2023). O gênero de mangue que domina nessa região é *Rhizophora* (Carvalho & Fontes, 2007). Entre o sul da Bahia e o litoral do Espírito Santo, os manguezais desenvolvem-se ao longo das barras e de lagunas costeiras e são caracterizados por *Rhizophora*, *Laguncularia* e *Avicennia*, ocupando áreas entre 0,3 e 1,0 m acima do nível médio do mar (Freire *et al*, 2020). Desta forma, as árvores de *Rhizophora* ocorrem próximas às margens do canal, enquanto as de *Avicennia* crescem mais para o interior da mesma, em áreas mais elevadas do nível médio da água. Na região do Espírito Santos, a vegetação costeira consiste em floresta tropical, manguezais e planícies herbáceas (Bozi *et al*, 2020). As áreas úmidas cobrem uma parte significativa da área, com manguezais que variam de 3 a 15 m de altura. Nas planícies herbáceas, existem arbustos e vegetação herbácea ao longo das planícies arenosas em áreas topográficas mais altas que os manguezais. (Bozi *et al*, 2020). O litoral norte do Rio de Janeiro as florestas de mangue são mais restritas e ocorrem extensas áreas de vegetação de restinga características da planície costeira (Câmara do Vale *et al*, 2023).

O sétimo setor localiza-se entre Cabo Frio, Rio de Janeiro (23°00'S) até Torres, Rio Grande do Sul (29°20'S), porém o limite latitudinal para espécies de mangue é no litoral de Santa Catarina, em Laguna, com ocorrência dos gêneros *Rhizophora* e *Avicennia*. A região sul é dominada por um regime de micro-maré que varia entre 0.5 e 1.5 m (Knoppers *et al*, 1999; Lacerda *et al*, 2013). Na região sul as árvores de mangue mais altas margeiam canais estuarinos ou baías (Silveira, 1964; Ab'Saber, 2001; Cunha-Lignon *et al*, 2009; Menghini *et al*, 2011; Schaeffer-Novelli *et al*, 2018; Shaeffer-Novelli, 2023; Câmara do Vale *et al*, 2023). As florestas podem ser monoespecíficas ou mistas com os três gêneros de mangue, *Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*. Sedimentos recentes de ilhas barreiras podem ser colonizados por *Poaceae* (*Spartina*), formando marismas (*salt marshes*) completamente inundados pela maré. As árvores de *Rhizophora* colonizam sedimentos lamosos com matéria orgânica, porém as plantas de *Avicennia* são encontradas em depósitos mais altos formando extensas florestas. As zonas de transição são frequentemente colonizadas por *Hibiscus*, *Crinum* e *Acrostichum*.

2.2 Nível relativo do mar no Holoceno

O nível relativo do mar (NRM) para a costa brasileira durante o Holoceno foi discutido na revisão proposta por Angulo et al, (2006) a partir da análise de datações ^{14}C em carapaças de vermetídeos e o posicionamento destes nos costões rochosos. Os dados indicam que aproximadamente 6.6 ka cal AP o NRM era mais alto que o atual e alcançou o máximo NRM holocênico por volta de 5.4 ka cal AP. Assim na região entre Pernambuco e Paraná o nível do mar pode ter alcançado cerca de 3 a 4 m mais alto que o atual, e a partir do Estado de Santa Catarina cerca de 2,1 m mais alto que o atual (Giannini, 2007). Em síntese os dados apontam para um declínio gradual do NRM, pelo menos nos últimos 5.0 ka cal AP. Adicionalmente, estudos paleoambientais a partir de polens de mangue, também registram mudanças do nível do mar (Woodroffe, 1982; Cohen et al, 2005b). Por exemplo, estudos mostram que durante o Holoceno inicial, na região norte do Brasil, houve aumento do nível do mar pós-glacial (Behling et al, 2001; Cohen et al, 2005b; Souza Filho et al, 2006; Vedel et al, 2006; Cohen et al, 2014) e teria estabilizado nível atual entre 7.0 e 5.0 Ka AP (Behling et al, 2001; Cohen et al, 2005b; Souza Filho et al, 2006). Na região nordeste, pode-se observar o mesmo padrão descrito para a região norte, onde o NRM subiu no Holoceno inferior e médio, até ~7.0 Ka AP, atingindo seu atual nível e estabilidade (Alves et al, 2016).

3. META E OBJETIVOS

A meta maior deste estudo é contribuir para o refinamento e integração de informações sobre os potenciais fatores controladores da origem e distribuição das florestas de mangue no Holoceno da costa brasileira, com destaque para clima, NRM e circulação oceânica. Para alcançar esta meta foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Obter dados palinológicos e geocronológica dos depósitos holocênicos da costa brasileira a partir da revisão bibliográfica de manuscritos publicados;
2. Contrastar a cronologia dos depósitos com as frequências relativas de polens de mangue da costa brasileira;
3. Fazer a análise estatística integrada dos dados palinológicos e geocronológicos, tendo em vista discutir possíveis significados da dinâmica espacial das florestas de mangue em termos de mudanças climáticas, NRM e circulação oceânica costeira.
4. Integrar o conjunto de resultados obtidos para diferentes regiões da costa brasileira para inferir um modelo de instalação e desenvolvimento dos manguezais no Holoceno.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O surgimento e expansão das florestas costeiras durante o Holoceno com ênfase para as comunidades de mangue, herbácea e várzea, são resultados de interação de fatores complexos, como NRM, clima e circulação oceânica. Os resultados de frequência relativa de pólen de mangue e datações ^{14}C obtidos neste estudo combinados com as mudanças do NRM e do clima durante o Holoceno permitiram inferir três principais fases da dinâmica evolutiva dos manguezais.

A primeira fase, considerada a fase de instalação e expansão do mangue ocorre entre 11.0 ka cal AP e 5.0 ka cal AP e caracteriza-se pela colonização das florestas de mangue em áreas com várzeas e herbáceas. A instalação do mangue foi favorecida pela elevação do NRM a partir de 10.0 ka cal AP e pelo máximo transgressivo em ~6.0 ka AP, quando atingiu ~ 2.0m mais alto que o atual na costa brasileira e favoreceu a expansão dos manguezais para as planícies intermareais estuarinas. As idades indicam que as primeiras árvores de mangue na costa brasileira teriam colonizado a região norte deste estudo por volta de 11.0 ka AP e eram representadas pelo gênero de *Rhizophora*. Na sequência teriam expandido para as regiões nordeste e sudeste (8.0 Ka cal AP), porém representadas tanto pelo gênero de *Rhizophora* como *Avicennia*. Ao longo de todo o Holoceno, o gênero de *Rhizophora* foi o mais representativo, exceto na região sul. Adicionalmente, para a região nordeste não se observou a expansão dos gêneros de *Rhizophora* e de *Avicennia*, tendo em vista que a ocorrência de polens de mangue é observada pontualmente, não podendo confirmar uma tendência de aumento da distribuição dos polens. As condições climáticas entre 10.0 e 5.0 ka AP também influenciaram na instalação do mangue nas regiões norte, nordeste e sudeste. O início do Holoceno foi caracterizado por um aumento da temperatura média da superfície global, o que influenciou as mudanças de temperaturas na superfície da água e regimes de precipitação para a costa brasileira. Assim, durante o período de 10.0 a 5.0 ka cal AP os dados mostraram aumento da temperatura superficial da água e da precipitação, tendo um aumento maior da precipitação em ~7.0 ka cal AP até 5.0 ka cal AP. No período de expansão do mangue nas regiões norte e sudeste, marcado nesse trabalho entre 8.0 ka cal AP e 5.0 ka cal AP, coincide com o aumento da precipitação, temperatura da água e NRM, o que teria favorecido para a expansão das florestas de manguezais. Apesar da precipitação, TSM e NRM serem similares os das outras regiões, a dinâmica do manguezal não pode ser inferida para a região nordeste. Outros fatores podem estar relacionados a mudança na distribuição de mangue para o nordeste, como os processos de dinâmica do canal de maré associados às variações do nível do mar e sedimentação costeira, como o avanço das dunas ativas (Figueiredo *et al*, 2023).

A segunda fase, entre 5.0 e 2.0 Ka cal AP, é caracterizada pela retração das florestas de mangue, sendo evidenciadas pela redução na distribuição e frequência relativa dos polens,

na região norte e sudeste deste estudo. A queda do NRM após a máxima inundação e a diminuição da precipitação a partir de 5.0 ka cal AP, marca a transição de um clima mais úmido para mais seco nas duas regiões, o que resultou na redução das florestas de manguezal. No entanto, com relação a precipitação, os dados de $\delta^{18}\text{O}$ mostraram um comportamento contrário, tendo um aumento da precipitação a partir de 5.0 ka cal AP relacionado com o primeiro aparecimento de polens de herbáceas e várzeas.

A última fase, entre 2.0 ka cal AP e o atual, é marcada pela expansão do mangue nas regiões norte, nordeste e sudeste e a instalação na região do sul. O gênero de *Laguncularia* ocorre inicialmente na região sudeste deste estudo e é o mais abundante na região do sul. Os dados de $\delta^{18}\text{O}$ indicam que a precipitação na região norte, nordeste e sudeste continuou a diminuir, porém, essa nova fase de expansão dos mangues pode ser associada as elevações do nível do mar nos últimos milênios. O surgimento de polens na região sul se relaciona com os dados de $\delta^{18}\text{O}$, onde mostram que para a região sul aumenta a precipitação e também ao aumento da temperatura média global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Ab'Saber, A. N., & Holmquist, C. (2001). Litoral do Brasil: Brazilian Coast. São Paulo: Metalivros. 120pp
- Angulo, R. J., Lessa, G. C., & Souza, M. C. De. (2006). A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, 25(5–6), 486–506. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008>
- Behling, H., & Lima, M. (2001). Holocene vegetational and coastal environmental changes from the A State , eastern Amazonia Lago Crispim record in northeastern Para. 114, 145–155.
- Behling, H.; Hooghiemstra, H. Neotropical savanna environments in space and time: Late Quaternary interhemispheric comparisons. In: MARKGRAF, V. (Ed.) *Interhemispheric Climate Linkages*. San Diego: Academic Press, 2001. p.307-23.
- Bozi, Bettina S. et al, Impacts of sea-level changes on mangroves from southeastern Brazil during the Holocene and Anthropocene using a multi-proxy approach. *Geomorphology*, v. 390, 2021 Tradução . . Acesso em: 10 ago. 2023.
- Cancela, M., Cohen, L., Carlos, M., Fátima, D. De, Carlos, L., Pessenda, R., César, P., Giannini, F., Lorente, F. L., Álvaro, A., Junior, B., Castro, D., & Macario, K. (2014). Landscape evolution during the late Quaternary at the Doce River mouth , Espírito Santo State , Southeastern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415,

- 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.12.001>.
- Chapman, V.J., 1976. Mangrove Vegetation. J. Cramer, Vaduz, Germany. 154pp
- Cheng, H., Sinha, A., Cruz, F. W., Wang, X., Edwards, R. L., D'Horta, F. M., Ribas, C. C., Vuille, M., Stott, L. D., & Auler, A. S. (2013). Climate change patterns in Amazonia and biodiversity. *Nature Communications*, 4. <https://doi.org/10.1038/ncomms2415>
- Cohen, M. C. L., Behling, H., & Lara, R. J. (2005). Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: The relative sea-level and the Little Ice Age. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 136(1–2), 93–108. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2005.05.002>
- Cohen, M. C. L., & Lara, J. (2003). Cohen & Lara 2003 - Remote sensing of mangrove boundaries. 1986, 223–231.
- Cohen, M. C. L., Lara, R. J., Smith, C. B., Angélica, R. S., Dias, B. S., & Pequeno, T. (2008). Wetland dynamics of Marajó Island, northern Brazil, during the last 1000 years. *Catena*, 76(1), 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.09.009>
- Cohen, M. C. L., Pessenda, L. C. R., Behling, H., de Fátima Rossetti, D., França, M. C., Guimarães, J. T. F., Friaes, Y., & Smith, C. B. (2012). Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. *Quaternary Science Reviews*, 55, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.08.019>
- Cohen, M. C. L., Souza Filho, P. W. M., Lara, R. J., Behling, H., & Angulo, R. J. (2005). A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Bragança Peninsula (northern Brazil). *Wetlands Ecology and Management*, 13(4), 433–443. <https://doi.org/10.1007/s11273-004-0413-2>
- Cohen M.C.L. et al, 2020a. Impacts of Holocene and modern sea-level changes on estuarine mangroves from northeastern Brazil. *Earth Surf Process Landforms*, 45(2):375–392. <https://doi.org/10.1002/esp.4737>.
- Cruz, F.W.j., Burns, S.J., Karmann, I., Sharp, W.D., Vuille, M., Cardoso, A.O., Ferrari, J.A., Silva Dias, P.L. & Viana Jr., O. (2005) Insolation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. . *Nature*, 434, 63-66
- Cruz, F.W., Vuille, M., Wang, X., Cheng, H., Werner, M., Lawrence Edwards, R., et al., 2009. Orbitally driven east-west antiphasing of south american precipitation. *Nat. Geosci.* 2, 210e214. <https://doi.org/10.1038/NGEO444>
- DHN. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Tábuas de marés para 2003. Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros. Niterói-RJ. Marinha do Brasil. DHN, 2003.
- Dominguez JML, Andrade ACS, Almeida AB, Bitencourt ACSP (2009) The Holocene barrier strand plains of the state of Bahia. In: Dillenburg S, Hesp PA (eds) *Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil*. Springer, Berlin, pp 254–288
- Duke, N. C., Ball, M. C., & Ellison, J. C. (1998). Factors influencing biodiversity and

- distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7(1), 27–47. <https://doi.org/10.2307/2997695>
- Ellison, A. M., Farnsworth, E. J., & Merkt, R. E. (1999). Origins of mangrove ecosystems and the mangrove biodiversity anomaly. *Global Ecology and Biogeography*, 8(2), 95–115. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.1999.00126.x>
- Ellison, A. M. (2002). Macroecology of mangroves: Large-scale patterns and processes in tropical coastal forests. *Trees - Structure and Function*, 16(2–3), 181–194. <https://doi.org/10.1007/s00468-001-0133-7>
- Eslami-Andargoli L, Dale, P. Sipe, N. and Chaseling J. 2009. Mangrove expansion and rainfall patterns in Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. *Estuar Coast Shelf Sci* 85: 292–298.
- Fig.ueiredo, B, L .Dinâmica espaço-temporal dos manguezais brasileiros: efeitos das mudanças climáticas e flutuações do nível do mar. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64134/tde-04092023-141437/>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- Filho, P. W. M. S., Cohen, M. C. L., Lara, R. J., Lessa, G. C., Koch, B., Filhof, P. W. M. S., Cohenf, M. C. L., Laraj, R. J., Lessao, G. C., Koch, B., & Behling, H. (2006). Holocene Coastal Evolution and Facies Model of the Bragança Macrotidal Flat on the Amazon Mangrove Coast , Northern Brazil Linked references are available on JSTOR for this article : You may need to log in to JSTOR to access the linked references . *Holocene*. 39.
- Fontes, D., Cordeiro, R. C., Martins, G. S., Behling, H., Turcq, B., Sifeddine, A., Seoane, J. C. S., Moreira, L. S., & Rodrigues, R. A. (2017). Paleoenvironmental dynamics in South Amazonia, Brazil, during the last 35,000 years inferred from pollen and geochemical records of Lago do Saci. *Quaternary Science Reviews*, 173, 161–180. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.08.021>
- França, C. F. Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da Ilha de Marajó (PA). 2003. 144 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003
- França, M. C., Alves, I. C. C., Cohen, M. C. L., Rossetti, D. F., Pessenda, L. C. R., Giannini, P. C. F., Lorente, F. L., Álvaro, A., Junior, B., Bendassolli, J. A., & Macario, K. (2016). Millennial to secular time-scale impacts of climate and sea-level changes on mangroves from the Doce River delta , Southeastern Brazil. <https://doi.org/10.1177/0959683616645938>
- França, M. C., Cohen, M. C. L., Pessenda, L. C. R., Rossetti, D. F., Lorente, F. L., Buso Junior, A. Á., Guimarães, J. T. F., Friaes, Y., & Macario, K. (2013). Mangrove vegetation changes

- on Holocene terraces of the Doce River, southeastern Brazil. *Catena*, 110, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.06.011>
- Gorenstein, I., Prado, L. F., Bianchini, P. R., Wainer, I., Griffiths, M. L., Pausata, F. S. R., & Yokoyama, E. (2022). A fully calibrated and updated mid-Holocene climate reconstruction for Eastern South America. *Quaternary Science Reviews*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107646>
- Guimarães, J. T. F., Cohen, M. C. L., França, M. C., Pessenda, L. C. R., & Behling, H. (2013). Morphological and vegetation changes on tidal flats of the Amazon Coast during the last 5000 cal. yr BP. *Holocene*, 23(4), 528–543. <https://doi.org/10.1177/0959683612463097>
- He, F., Shakun, J., Clark, P. et al. Northern Hemisphere forcing of Southern Hemisphere climate during the last deglaciation. *Nature* 494, 81–85 (2013). <https://doi.org/10.1038/nature11822>
- Krauss, K. W., Lovelock, C. E., McKee, K. L., López-Hoffman, L., Ewe, S. M. L., & Sousa, W. P. (2008). Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 105–127. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.014>
- Ledru, M.-P., Salatino, M.L.F., Ceccantini, G., Pinheiro, A., Pinheiro, F., and Pintaud, J.C., 2007, Regional assessment of the impact of climatic change on the distribution of a tropical conifer in the lowlands of the lowlands of South America: *Diversity and Distributions*, v. 13, p. 761 – 771, doi:10.1111/j.1472-4642.2007.00389.x
- Liu, Z., Harrison, S.P., Kutzbach, J. et al, Global monsoons in the mid-Holocene and oceanic feedback. *Climate Dynamics* 22, 157–182 (2004). <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0372-y>
- Martorano, L. G.; Pereira, L. C.; Cezar, E. G. M.; Pereira, I. C. B. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica. Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, p.53, 1993.
- 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). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118710>
- Mori, G. M., Zucchi, M. I., & Souza, A. P. (2015b). 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). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118710>
- Morais P.D., Morais J.D. 2000. O Amapá em Perspectiva: uma abordagem histórico-geográfica.: Editora Valcan, Macapá.
- Mulitza, S., Chiessi, C. M, Schefuß, E, Lippold, J, Wichmann, D, Antz, B., et al. (2017). Synchronous and proportional deglacial changes in Atlantic meridional overturning and northeast Brazilian precipitation. *Paleoceanography*, 32(6), 622. PA003084.
- Nettel, A., Dodd, R. S., Afzal-Rafii, Z., & Tovilla-Hernández, C. (2008). Genetic diversity

- enhanced by ancient introgression and secondary contact in East Pacific black mangroves. *Molecular Ecology*, 17(11), 2680–2690. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03766.x>
- Peixoto, A.L. & Gentry, A. 1990. Diversidade e composição florística da mata de tabuleiro na Reserva Florestal de Linhares (Espírito Santo, Brasil). *Revta brasil. Bot.* 13:19-25.
- Pessenda L.C.R., Gouveia S.E.M., Ribeiro A. de S, Oliveira P. E. de, Aravena R. 2010. Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 297:597–608. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.09.008>
- Pil, M. W., Boeger, M. R. T., Muschner, V. C., Pie, M. R., Ostrensky, A., & Boeger, W. A. (2011). Postglacial north-south expansion of populations of *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) along the Brazilian coast revealed by microsatellite analysis. *American Journal of Botany*, 98(6), 1031–1039. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000392>
- Prado, L., Wainer, I., Chiessi, C.M., Ledru, M.-P., Turcq, B., 2013a. A mid-holocene climate reconstruction for eastern south America. *Clim. Past* 9, 2117e2133. <https://doi.org/10.5194/cp-9-2117-2013>
- Pugh, D. (1987) *Tides, Surges and Mean Sea Level: A Handbook for Engineers and Scientists*. John Wiley & Sons, Chichester, 472 p.
- Quisthoudt, K., Schmitz, N., Randin, C. F., Dahdouh-Guebas, F., Robert, E. M. R., & Koedam, N. (2012). Temperature variation among mangrove latitudinal range limits worldwide. *Trees - Structure and Function*, 26(6), 1919–1931. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0760-1>
- Ricklefs, R. E., Schwarzbach, A. E., Renner, S. S., & Url, S. (2012). Rate of Lineage Origin Explains the Diversity Anomaly in the World ' s Mangrove Vegetation . *Rate of Lineage Origin Explains the Diversity Anomaly in the World ' s Mangrove Vegetation*. *Diversity*, 168(6), 805–810.
- Rodrigues, E., Cohen, M. C. L., Liu, K. biu, Pessenda, L. C. R., Yao, Q., Ryu, J., Rossetti, D., de Souza, A., & Dietz, M. (2021). The effect of global warming on the establishment of mangroves in coastal Louisiana during the Holocene. *Geomorphology*, 381. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107648>
- Rossi, M.; Mattos, I. F. A. Solos de mangue do Estado de São Paulo: caracterização química e física. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 15, p. 101-113, 2002.
- Rull, V. (2022). Responses of Caribbean Mangroves to Quaternary Climatic, Eustatic, and Anthropogenic Drivers of Ecological Change: A Review †. In *Plants* (Vol. 11, Issue 24). MDPI. <https://doi.org/10.3390/plants11243502>
- T.P.Santos,D.O.Lessa,I.M.Venancio,C.M.Chiessi,S.Mulitza,H.Kuhnert,A.Govin,T.Machado,K .B.Costa,F.Toledo,B.B.Dias,A.L.S.Albuquerque Prolonged warming of the Brazil Current precedes deglaciations *Earth Planet Sci. Lett*, 463 (2017), pp. 1-

12,10.1016/j.epsl.2017.01.014

- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Adaime, R. R.; Camargo, T. M. (1990a) Variability of mangrove ecosystems along the brazilian coast. *Estuaries*, v.13, n.2, p.204-218, 1990.
- Schaeffer-Novelli, Y. (1995). *Manguezal: ecossistema entre a terra eo mar* Caribbean Ecological Research.
- Schaeffer-Novelli, Y., Soriano-Sierra, E. J., Do Vale, C. C., Bernini, E., Rovai, A. S., Pinheiro, M. A. A., Schmidt, A. J., De Almeida, R., Coelho Júnior, C., Menghini, R. P., Martinez, D., Abuchahla, G. M. de O., Cunha-Lignon, M., Charlier-Sarubo, S., Shirazawa-Freitas, J., & Cintrón-Molero, G. (2016). Climate changes in mangrove forests and salt marshes. In *Brazilian Journal of Oceanography* (Vol. 64, Issue Special Issue 2, pp. 37–52). Universidade de Sao Paulo. <https://doi.org/10.1590/S1679-875920160919064sp2>
- Schnider, U., Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Rudolf, B., & Ziese, M. (2011). GPCC Full Data Reanalysis Version 6.0 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data, doi: 10.5676/DWD_GPCC.FD_M_V6_050.
- Silva, W. S.; Fornasari, N. Unidades de conservação ambiental e áreas correlatas no Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo*, n. 63. IPT, 1992.
- Smith, R., & Mayle, F. (2018). Impact of mid- to late Holocene precipitation changes on vegetation across lowland tropical South America: A paleo-data synthesis. *Quaternary Research*, 89(1), 134-155. doi:10.1017/qua.2017.89
- Smith, C. B., Cohen, M. C. L., Pessenda, L. C. R., França, M. C., Guimarães, J. T. F., Spalding, M.; Kainuma, M.; Collins, L. *World Atlas of Mangroves*. London: Earthscan. 2010.
- Strikis, N. M, Cruz, F. W, Cheng, H, Karmann, I, Edwards, R. L, Vuille, M, et al. (2011). Abrupt variations in South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. *Geology*, 39(11), 1075–1078.
- Suguio, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M., Azevedo, A.E.G.de, 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências* 15, 273–286.
- Rossetti, D. de F., & Lara, R. J. (2011). Holocene coastal vegetation changes at the mouth of the Amazon River. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 168(1), 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2011.09.008>
- Takayama, K., Tamura, M., Tateishi, Y., & Kajita, T. (2008). Isolation and characterization of microsatellite loci in the red mangrove *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) and its related

- species. *Conservation Genetics*, 9(5), 1323–1325. <https://doi.org/10.1007/s10592-007-9475-z>
- Takayama, K., Tamura, M., Tateishi, Y., Webb, E. L., & Kajita, T. (2013). Strong genetic structure over the American continents and transoceanic dispersal in the mangrove genus *Rhizophora* (Rhizophoraceae) revealed by broad-scale nuclear and chloroplast DNA analysis. *American Journal of Botany*, 100(6), 1191–1201. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200567>
- Toledo, M. B. De, & Bush, M. B. (2007). A mid-Holocene environmental change in Amazonian savannas. 1313–1326. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01606.x>
- Vedel, V., Behling, H., Cohen, M., & Lara, R. (2006). Holocene mangrove dynamics and sea-level changes in northern Brazil, inferences from the Taperebal core in northeastern Pará State. *Vegetation History and Archaeobotany*, 15(2), 115–123. <https://doi.org/10.1007/s00334-005-0023-9>
- Woodroffe, C. D.; Grindrod, J. Mangrove biogeography the role of Quaternary environmental and sea-level change. *Journal of Biogeography*, n. 18, p. 479-492, 1991
- Woodroffe, C. (2005). *Geomorphology*. 41, 2005.