



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**TESE Nº 150**

**A EVOLUÇÃO DOS MANGUEZAIS NOS LITORAIS  
NORDESTE E SUL BRASILEIROS DURANTE O HOLOCENO**

**Tese apresentada por:**

**NEUZA ARAÚJO FONTES FREIRE**

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA)**

---

**BELÉM - PARÁ  
2020**

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

---

- F866e Freire, Neuza Araújo Fontes  
A evolução dos manguezais nos litorais Nordeste e Sul brasileiros durante o Holoceno / Neuza Araújo Fontes Freire. — 2020.  
xxix, 185 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen  
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.
1. Manguezal. 2. Palinologia. 3. Mudanças climáticas. 4. Nível do mar. 5. Holoceno. I. Título.

CDD 577.698

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

## **A EVOLUÇÃO DOS MANGUEZAIS NOS LITORAIS NORDESTE E SUL BRASILEIROS DURANTE O HOLOCENO**

**TESE APRESENTADA POR:**

**NEUZA ARAÚJO FONTES FREIRE**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutora em Ciências na Área de  
GEOLOGIA, Linha de Pesquisa GEOLOGIA MARINHA E COSTEIRA**

Data de Aprovação: 30 / 09 / 2020

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen  
(Orientador - UFPA)

Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda  
(Membro - USP)

Prof. Dr. Ruben José Lara  
(Membro - IADO-UNS)

Prof. Dr. Marlon Carlos França  
(Membro - IFPA)

Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa  
(Membro - UFPA)

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

Expresso aqui meu total agradecimento à minha família, por toda força e apoio que tem me concedido durante todos os dias da minha vida.

Agradeço à Universidade Federal do Pará, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, pelo apoio logístico e infraestrutura.

A CAPES pelo apoio financeiro e concessão das bolsas de estudos (Processos 88882.176780/2018-01 – Nacional e 88881.135518/2016-01 - Sanduiche) que possibilitaram o desenvolvimento desta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento do projeto de pesquisa (17/03304-1).

Ao Centro de Energia Nuclear Aplicado à Agricultura (CENA-USP) e Laboratório de 14C.

Ao Laboratório e Oceanografia Química (LOQ-UFPA) e ao Laboratório de Dinâmica Costeira da Universidade Federal do Pará (LADIC-UFPA).

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA) pela paciência em transferir seu conhecimento científico, por todas as discussões e sugestões, além dos incentivos diários para a composição deste trabalho.

Ao Dr. Marlon França (UFPA) pela paciência e gentileza, pelos sinceros conselhos, discussões e apoio na trajetória deste trabalho.

Ao Professor Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda por todo o apoio logístico durante os trabalhos de campo e atividades em seu laboratório no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao professor Dr. Hermann Behling pelo apoio logístico durante a realização dos processamentos polínicos no Department of Palynology and Climate Dynamics (Georg-August-Universität Göttingen – Alemanha), e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (UFPA), pelos conhecimentos compartilhados.

Aos bibliotecários do IG, especialmente a sra. Lúcia Imbiriba, pela gentileza e orientações dadas para a formatação desta tese.

Aos amigos e profissionais do Laboratório de Dinâmica Costeira (LADIC) da Universidade Federal do Pará, como MSc. Érika Rodrigues, MSc. Beatriz Luna, MSc. Jaine Freitas, MSc. Denise Rocha, MSc. Vanessa Pinheiro, MSc. Allana Azevedo, MSc. Caio Alves, MSc. Vitor Carvalho, MSc. Patrícia Rodrigues, Izabelle Serrão e Sergio Molano, pela amizade, dedicação, sugestões e auxílio no trabalho de campo e laboratório. Aos MSc Bettina Bozi, Sérgio Nunes e Renan Fernandes, os quais eu tive o imenso prazer de conhecer, ter como companheiros nos estudos desenvolvidos neste doutorado e nos cafés da tarde. À Cleida Freitas e Joanicy Lopes pela eficiência profissional nos assuntos do PPGG/UFPA.

Um agradecimento especial aos amigos do Museu Emílio Goeldi que me ensinaram muito ao longo do meu desenvolvimento acadêmico e viraram uma família para mim, especialmente Heloisa Moraes e Sue Costa, que me inspiram e me lembram sempre à quem nós, pesquisadores/educadores, devemos servir.

Agradeço novamente de forma especial à toda minha família, que tanto amo, por todo apoio e carinho durante a construção deste trabalho. À minha amada esposa Camila Freire, por todos os dias, discussões engrandecedoras, princípios, sonhos e realizações compartilhadas. Viver com você é uma dádiva e me moldou ao que sou hoje. Ao irmão que a vida me deu, Fernando Borges, o qual, além de ter se tornado um companheiro de trabalho, sempre foi um grande companheiro na vida. Meus dias são sempre mais alegres quando você está por perto. À minha mãe Nilma Limeira, que sempre confiou e apoiou todos os meus passos na vida. Aos meus amigos queridos que fazem os dias serem mais divertidos. Os amo.

Muito obrigada!

“Não existe imparcialidade.  
Todos são orientados por uma base ideológica.  
A questão é: Sua base ideológica é INCLUSIVA ou EXCLUDENTE?”  
Paulo Freire

## RESUMO

A dinâmica dos manguezais durante o Holoceno pode ter sido em grande parte controlada pelas mudanças climáticas e flutuações do nível do mar (forças alogênicas). Entretanto, forças autogênicas podem ter significativamente afetado tais florestas. Distinguir a influência alogênica da autogênica nos manguezais é desafiador, pois os mecanismos relacionados à dinâmica natural dos ambientes sedimentares (processos autogênicos) tem grande influência no estabelecimento e degradação dos manguezais. Então, impactos causados por processos autogênicos podem ser erroneamente atribuídos aos mecanismos alogênicos. Portanto, é fundamental identificar a chamada “impressão digital” das mudanças globais na dinâmica atual dos manguezais. Essa tese integra dados palinológicos, geoquímicos ( $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  e C/N), sedimentológicos e datações por  $^{14}\text{C}$  da matéria orgânica sedimentar, juntamente com dados geomorfológicos e de vegetação no intuito de avaliar o grau de influência dos processos autogênicos e alogênicos na dinâmica dos manguezais brasileiros durante o Holoceno. Para tal, foram escolhidos estuários tropicais do Rio Grande do Norte e sul da Bahia, e subtropicais, norte e sul de Santa Catarina com diferentes características climáticas, geomorfológicas e oceanográficas. Na porção oriental do Rio Grande do Norte, próximo a cidade de Natal, o NRM atingiu valores modernos e estabilizou há ~7.000 anos cal. A.P. permitindo o estabelecimento de manguezais nas bordas do estuário do Rio Ceará-Mirim até os dias atuais. Entretanto, mudanças na distribuição espacial dos manguezais ocorreram desde então devido à dinâmica dos canais na região, portanto sendo controladas por processos autogênicos. Considerando os manguezais do Rio Jucuruçu no sul da Bahia, estes sofreram mudanças na sua distribuição horizontal e vertical em decorrência das interações das mudanças do NRM e descarga fluvial. Portanto, a dinâmica desses manguezais estuarinos durante o Holoceno foi principalmente controlada pelas variações do nível do mar e mudanças na precipitação que afetou a descarga fluvial. Esses mecanismos alogênicos foram os principais condutores da dinâmica desses manguezais. Entretanto, durante os últimos 600 anos na foz do Rio Jucuruçu, fatores intrínsecos ao sistema deposicional ganharam relevância controlando o estabelecimento e migração dos manguezais através da formação e erosão de planícies de maré lamosas, abandono e reativação de canais (processos autogênicos). No caso dos manguezais de Santa Catarina, o aumento do nível do mar até o Holoceno médio foi determinante para o estabelecimento de planícies de maré apropriadas para a ocupação de pântanos. Entretanto, os manguezais não toleraram as baixas temperaturas dessa época na região. Os dados indicam o surgimento de manguezais com

*Laguncularia* por volta de 1.700 anos cal. A.P., seguido por *Avicennia*, e por último, árvores de *Rhizophora*, gênero menos tolerante ao frio, em torno de 650 anos cal. A.P. em São Francisco do Sul, norte de Santa Catarina. Os manguezais de Laguna, sul de Santa Catarina, composto por *Laguncularia* e *Avicennia*, foram estabelecidos no atual limite austral dos manguezais sul-americanos somente nas últimas décadas. Não foram encontradas evidências da presença de manguezal em Laguna durante o Holoceno. O estabelecimento desses manguezais na região, provavelmente, foi iniciado durante o Antropoceno, como consequência do aumento das temperaturas mínimas de inverno no sul do Brasil. Considerando as mudanças nas taxas de precipitação sobre as bacias de drenagem que alimentam estuários com manguezais, assim como as tendências de aumento do nível do mar e de temperatura até o final do século 21, provavelmente, os manguezais estuarinos tropicais migrarão para setores topograficamente mais elevados no interior dos vales fluviais, onde sua extensão dependerá do volume de descarga fluvial interagindo com o aumento do nível do mar. Os manguezais subtropicais devem expandir para zonas mais temperadas na medida que as temperaturas mínimas de inverno aumentem. Esse processo deve causar um aumento na diversidade de espécies de mangue, como a introdução do gênero *Rhizophora* no atual limite austral dos manguezais, posicionado em Laguna-SC. Entretanto, no caso de um forte aumento no nível do mar, os relativamente novos manguezais subtropicais também devem migrar para setores topograficamente mais elevados da costa.

Palavras-chave: Manguezal. Palinologia. Mudanças climáticas. Nível do mar. Holoceno. Antropoceno.

## ABSTRACT

It is possible that climate changes and sea level fluctuations (allogenic processes) are and will cause major changes in mangrove dynamics. However, other driving forces may be significantly affecting this system. Distinguishing allogenic and autogenic influence on mangroves is a challenging question, because mechanisms related to the natural dynamics of depositional environments (autogenic processes) have strong influences on the establishment and degradation of mangroves. Thus, impacts on mangroves caused by autogenic processes may be erroneously attributed to allogenic mechanisms. Therefore, it is imperative to identify the 'fingerprint' of global changes in modern mangrove dynamics. This thesis integrates palynological, geochemical, sedimentological data,  $^{14}\text{C}$  dating of sedimentary organic matter, geomorphological and vegetation data in order to evaluate the influence of autogenic and allogenic processes on Brazilian mangroves during the Holocene. Tropical estuaries from Rio Grande do Norte and southern Bahia, and subtropical estuaries in northern and southern Santa Catarina states with different climatic, geomorphological and oceanographic characteristics were studied. The Relative Sea-Level (RSL) along the Rio Grande do Norte reached modern level and stabilized at about 7,000 cal yr BP, allowing the mangrove establishment at the edges of the Ceará-Mirim River estuary until the nowadays. However, changes in the spatial distribution of mangroves have occurred since then due to channels dynamics in the region (autogenic processes). Considering the mangroves of the Jucuruçu River in southern Bahia, their horizontal and vertical distribution were controlled by the interactions of the changes in the RSL and fluvial discharge. Therefore, the dynamics of these estuarine mangroves during the Holocene was mainly controlled by changes in sea level and precipitation that affected fluvial discharge. These allogenic mechanisms were the main drivers of the dynamics of these mangroves. However, during the last 600 years, factors intrinsic to the depositional system gained relevance by controlling the establishment and migration of mangroves by deposition and erosion of muddy tidal flats, abandonment and reactivation of channels (autogenic processes). In the case of Santa Catarina mangroves, the RSL rise up to the middle Holocene was decisive for the establishment of tidal flats appropriate for the expansion of saltmarshes. However, mangroves did not tolerate the Holocene low temperatures in the southern littoral of Santa Catarina. The pollen data indicate the establishment of mangroves with *Laguncularia* around 1,700 cal yr BP, followed by *Avicennia* and lastly *Rhizophora* trees, a cold less tolerant genus, around 650 cal yr BP in São Francisco do Sul, north of Santa Catarina. The mangroves

of Laguna, south of Santa Catarina, composed of *Laguncularia* and *Avicennia*, were established in the current southern limit of the South American mangroves only in the last decades. No evidence was found for the presence of mangroves in Laguna during the Holocene. The establishment of these mangroves in the region probably started during the Anthropocene, as a consequence of the increase in minimum winter temperatures in southern Brazil. Considering changes in precipitation rates over drainage basins that feed mangrove estuaries, as well as trends in RSL rise and temperatures until the end of the 21st century, tropical estuarine mangroves will likely migrate to higher topographically sectors in the interior of the river valleys, where its extension will depend on the volume of river discharge interacting with the RSL rise. Subtropical mangroves are expected to expand to more temperate zones as minimum winter temperatures increase. This process should cause an increase in the diversity of mangrove species, such as the introduction of the *Rhizophora* genus in the current southern limit of the mangroves, positioned in Laguna-SC. However, in the case of high rates of RSL rise, the relatively new subtropical mangroves are also expected to migrate to topographically higher sectors of the coast.

Keywords: Mangrove. Palynology. Climate change. Sea-level. Holocene. Anthropocene.