

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

Efeitos das mudanças climáticas nos limites austral e boreal dos manguezais americanos durante o Holoceno e Antropoceno

Tese apresentada por:

ÉRIKA DO SOCORRO FERREIRA RODRIGUES

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

**BELÉM- PARÁ
2021**

RESUMO

Durante o Holoceno a distribuição dos manguezais foi controlada em grande parte pelo clima e flutuações do nível do mar. O clima limitou essas florestas às latitudes 30°N e 28°S. Portanto, em resposta ao aquecimento global no Antropoceno, espera-se que os manguezais migrem para latitudes mais temperadas invadindo áreas úmidas colonizadas por marismas (*Spartina* sp.). O objetivo geral desta Tese é avaliar os efeitos das mudanças climáticas e flutuações do NRM na distribuição dos manguezais americanos ao longo do Holoceno e Antropoceno, baseado em imagens de satélite e drone, fácies sedimentares, diatomáceas, pólen, geoquímica (LOI, XRF, COT, NT, ST, C: N, C: S, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) e datações por ^{210}Pb e ^{14}C . Para isto, foi escolhido um estuário do litoral sul do Espírito Santo como representante dos manguezais tropicais (20°41'S), além de regiões costeiras subtropicais situadas na costa norte (26° 6'S) e sul de Santa Catarina (28°29' S) e litoral da Louisiana (29°09'N). Os resultados desta pesquisa estão apresentados em quatro artigos científicos. O primeiro, (ver, capítulo III) trata sobre os efeitos do aquecimento global no estabelecimento dos manguezais na região costeira da Louisiana (29° 09' N) durante o Holoceno. O segundo artigo científico (ver, capítulo IV) mostra a migração dos manguezais para o limite austral desse ecossistema no continente sul-americano, na região de Laguna, de acordo com o aumento nas temperaturas mínimas de inverno no Antropoceno (costa sul de Santa Catarina, 28°29' S). O terceiro manuscrito (ver, capítulo V) avalia os impactos do aumento do nível do mar nos manguezais tropicais do sudeste brasileiro (costa sul Espírito Santo, 20°41'S) durante o Holoceno e Antropoceno, usando uma abordagem multi-proxy. O quarto artigo científico (ver, capítulo VI) aborda o estabelecimento dos manguezais na Baía de São Francisco do Sul (costa norte de Santa Catarina, 26°6'S), em resposta ao aquecimento global nos últimos 1000 anos. Os resultados indicaram uma transgressão marinha na costa sul de Santa Catarina (28°29' S) e litoral da Louisiana (29° 09' N) no Holoceno inicial. Este processo natural converteu ambientes lacustres em lagunas colonizadas por ervas adaptadas a ambiente estuarino. Na costa tropical brasileira o aumento do NRM no Holoceno médio (2-5 m acima do nível atual) foi determinante para o estabelecimento dos manguezais. Este comportamento foi observado em um estuário localizado na costa sul do Espírito Santo (20°41'S) onde uma planície herbácea foi gradualmente substituída por uma laguna cercada por manguezais entre ~6300 anos cal AP e ~4650 anos cal AP. No entanto, entre ~4650 anos cal AP e 2700 anos cal AP a laguna colonizada por manguezais em suas margens foi convertida em uma planície de maré ocupada por ervas, palmeiras e árvores/arbustos refletindo a redução da influência estuarina no

Holoceno tardio, de acordo com a queda do NRM. A partir dos últimos mil anos ocorreu uma diminuição significativa na ocorrência de pólen de manguezal nos sedimentos das planícies de maré do sul do Espírito Santo (390 cal anos AP (1560 DC) e 77 cal anos AP (1873 DC), provavelmente causado por uma queda no NRM associada a Pequena Idade do Gelo (LIA). Estudos paleoclimáticos indicaram flutuações na temperatura durante LIA (380 a 50 anos cal AP) e MCA – Período Quente Medieval (950 a 750 anos cal AP) no Holoceno tardio e consequente mudança na vegetação no sul do Brasil. Estes eventos climáticos provavelmente influenciaram o aparecimento da sucessão de gêneros de manguezais na Baía de São Francisco do Sul (costa norte de Santa Catarina, 26°6' S). Os efeitos da queda e/ou estabilização do nível do mar no Holoceno tardio foram registrados na costa sul catarinense (Laguna, 28°29'S) através da mudança na geomorfologia costeira. Neste mesmo período no litoral de Louisiana (29°09'N), sedimentos arenosos (sedimentos *overwash*) foram depositados nesses estuários refletindo a migração gradual desses sedimentos em direção ao continente provavelmente resultado de eventos de tempestade. As tendências de NRM na costa sul brasileira (Laguna, 28°29'S) e norte americana (litoral da Louisiana, 29°09'N) a partir do Holoceno médio foram as mesmas apresentando condições físico-químicas apropriadas para o desenvolvimento de manguezais, como ocorreu no litoral do Espírito Santo (~6300 anos cal AP) e na Baía de São Francisco do sul (~1500 anos cal AP). Entretanto, não foram registrados grãos de pólen de manguezal nos sedimentos do atual limite austral (Laguna, 28°29'S) e boreal (litoral da Louisiana, 29°09'N) dos manguezais americanos durante o Holoceno. Neste intervalo de tempo ocorreu uma contribuição significativa de matéria orgânica de origem estuarina em planícies de maré ocupadas por *Spartina* sp. Em relação ao aquecimento global e aumento do NRM no Antropoceno um aumento de pólen de manguezal nos testemunhos sedimentares do Espírito Santo (20°40'S) refletiram a migração do mangue para planícies arenosas topograficamente mais elevadas anteriormente dominada por vegetação herbácea. Em relação aos manguezais de Laguna (atual limite austral dos manguezais americanos, 28°29'S), análises de pólen e datações de ¹⁴C e ²¹⁰Pb indicaram que os manguezais foram estabelecidos sob influência estuarina entre ~ 1957 e 1986 DC, representados por árvores de *Laguncularia* sp. Análises espaço temporal com base em imagens de satélite e drone indicaram que os manguezais vêm se expandindo nas últimas décadas com introdução de novos gêneros de mangue. Em nossa área de estudo na Baía de São Francisco do Sul (costa norte de Santa Catarina, 26°6' S), análises palinológica e datação ¹⁴C revelaram que os manguezais se estabeleceram em torno de ~ 1500 anos cal AP representados por *Laguncularia* sp. seguido por *Avicennia* sp. (~500 anos cal AP) e *Rhizophora* sp. apenas no último século.

Provavelmente, essa sucessão de gêneros de manguezais foi causada por uma tendência de aquecimento na América do Sul durante o Holoceno tardio e as árvores de *Rhizophora* sp. pelo aquecimento durante o Antropoceno. Em relação aos manguezais localizados no litoral da Louisiana registros históricos indicaram a presença de pequenos arbustos de *Avicennia* sp. no início do século XX. Atualmente, estudos de sensoriamento remoto coordenado por Cohen (2021) indicam uma expansão latitudinal de *Avicennia* sp. colonizando áreas que eram anteriormente ocupadas por *Spartina* sp. após duas décadas de invernos quentes. Portanto, os manguezais migraram dos trópicos para zonas temperadas na medida que as temperaturas mínimas de inverno aumentaram durante o Holoceno. No entanto, os manguezais de Laguna e Louisiana (atual limite dos manguezais sul e norte americano) estabeleceram-se apenas no início e meado do século XXI, respectivamente. Tal dinâmica dos manguezais americanos estudados na presente tese foi causada provavelmente pelo aquecimento global natural do Holoceno e intensificado durante o Antropoceno. Esse processo também causou um aumento do nível do mar que resultou na migração dos manguezais de zonas baixas para novas planícies de maré mais elevadas.

Palavras-chave: Aquecimento global, Nível do mar, Manguezais americanos, Palinologia, Holoceno e Antropoceno.