



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

TESE DE DOUTORADO Nº 115

**RESPOSTA DOS MANGUEZAIS DO AMAPÁ, RIO GRANDE
DO NORTE, SUL DA BAHIA E ESPÍRITO SANTO ÀS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DO
MAR DURANTE O HOLOCENO**

Tese apresentada por:

IGOR CHARLES CASTOR ALVES

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

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda (USP)

**BELÉM
2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Alves, Igor Charles Castor, 1980-

Resposta dos manguezais do Amapá, do Rio Grande do Norte, do sul da Bahia e do Espírito Santo às mudanças climáticas e flutuações de nível do mar durante o Holoceno / Igor Charles Castor Alves. - 2016.

Orientador: Marcelo Cancela Lisboa Cohen;

Coorientador: Luiz Carlos Ruiz Pessenda.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2016.

1. Carbono - Isótopos. 2. Fácies (Geologia)
– Brasil. 3. Mudanças Climáticas - Brasil. 4. Palinologia - Brasil. 5.
Sedimentação e depósitos - Brasil. I. Título.

CDD 22. ed. 541.388



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

RESPOSTA DOS MANGUEZAIS DO AMAPÁ, DO RIO GRANDE DO NORTE, DO SUL DA BAHIA E DO ESPÍRITO SANTO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DO MAR DURANTE O HOLOCENO

TESE APRESENTADA POR
IGOR CHARLES CASTOR ALVES

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: 15/09/2016.

Banca Examinadora:

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

Prof. Dr. Marcus Emanuel Barroncas Fernandes
(Membro-UFPA)

Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini
(Membro-USP)

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

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto
(Membro-UFPA)

A minha mãe Dona Iza e ao meu irmão Ivan Alves, os maiores incentivadores de minhas conquistas; ao meu filho Lucas Alves e a minha noiva Kelen pelo carinho, amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me iluminar e proteger durante todos os dias da minha vida.

Agradeço imensamente ao meu caro orientador e amigo Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA) pela paciência e generosidade ao longo desses anos, sempre disposto a ajudar, contribuir e constantemente incentivando o grupo por meio das discussões e sugestões para a excelência do melhor trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro e concessão da bolsa de estudos nesta pesquisa.

Agradeço ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ambientes Marinhos Tropicais (INCT-AmbTropic) (CNPq Processo 565054/2010-4). Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em ambientes marinhos tropicais Heterogeneidade espaço-temporal e respostas às mudanças climáticas.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento do projeto de pesquisa (00995-7/2011), Estudos paleoambientais interdisciplinares na costa do Espírito Santo (Temático FAPESP).

Ao PROJES “Estudos paleoambientais interdisciplinares na costa do Espírito Santo”, coordenado pelo Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda (USP).

Ao CNPq (Projeto 473635/2012-7) - Paleambiente e Paleoclima do litoral norte: efeitos das mudanças na descarga fluvial e/ou nível do mar nos manguezais durante o Pleistoceno tardio e Holoceno.

Ao Professor Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda por todo o apoio logístico durante o trabalho de campo, assim como nas atividades do laboratório no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA).

Aos Professores, Dr. Paulo César Giannini (USP), Dr. José Augusto (UFPA), Dr. Afonso Nogueira (UFPA), Dr. Luis Pessenda, pelas valiosas sugestões no período de qualificação desta Tese.

Aos amigos de longa data, Dr. Marlon França, Patrick Heleno, Aurea Bastos, Álvaro Pinto, Lourdes Santos, Ivan Alves e Nita, pela amizade, conselhos e apoio nas horas mais difíceis.

Aos amigos e profissionais do Laboratório de Dinâmica Costeira (LADIC), da Universidade Federal do Pará, Ms. Yuri Friaes (PPGG/UFPA), Ms. Neuza Fontes e Ms. Mayra Nina.

(PPGG/UFPA), pela amizade, dedicação, sugestões e auxílio no trabalho de campo e laboratório.

Agradecimento especial a querida Cleida Freitas pela amizade, confiança e profissionalismo no PPGG/UFGPA.

Aos profissionais do Laboratório de ^{14}C (CENA/USP), Ms. Antônio Álvaro Buso Júnior, Ms. Mariah I. Francisquini, Ms. Flávio L. Lorente, Thiago Barros, Liz Mary, Leticia Prado, Andrews Delbaje, todos essenciais nos trabalhos de campo e coletas das amostras que geraram esta Tese.

A Universidade Federal do Pará (Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica), pela disponibilidade de espaço e laboratórios.

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

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

A Reserva Natural Vale (Linhares – ES), pelo acolhimento e suporte durante as atividades de campo no Espírito Santo.

Agradeço aos amigos, Docentes e Discentes da UNAMA com quem compartilho muitas horas diárias e os quais já considero uma extensão da minha família.

Aos amigos funcionários e docentes do SENAC e da Faculdade Mauricio de Nassau Belém.

Por fim, agradeço novamente de forma especial a toda minha família, pelo apoio, confiança e carinho durante toda a minha vida.

Sou muito grato a Todos!

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”. (Leonardo da Vinci)

RESUMO

Este trabalho integra dados de geomorfologia, feições sedimentares, pólen, isótopos e datações C-14, obtidos de testemunhos do litoral do Amapá, do Rio Grande do Norte, da Bahia e do Espírito Santo. No norte do Brasil, a área com manguezais e influência marinha foram maiores que as atuais entre >8750 e ~ 2250 cal anos AP, formando uma faixa contínua de manguezais. No Holoceno tardio, os manguezais foram substituídos por vegetação de água-doce, próximo da foz do Amazonas. Já as planícies herbáceas elevadas revelaram uma transição de influência marinha com manguezais para uma fase dominada por ervas e matéria orgânica terrestre cerca de 400 cal anos AP. Nas últimas décadas existe uma tendência de migração dos manguezais para as superfícies mais elevadas e nos manguezais do Rio Ceará-Mirim, no Rio Grande do Norte, têm ocorrido dentro da atual amplitude da maré, desde ~ 7000 cal anos AP, e não foram encontrados indícios de influência marinha acima da atual faixa de variação da maré. Entretanto, estudos realizados 34 km a montante no Rio Jucuruçu, Prado-Bahia, indicam a presença de manguezais e matéria orgânica estuarina entre ~ 7400 e ~ 5300 cal anos AP. Durante o Holoceno tardio, os manguezais migraram para a foz desse rio. Dinâmica similar foi registrada no litoral de Linhares, Espírito Santo, onde os limites superiores das planícies de maré foram ocupados por manguezais durante o nível de mar máximo do Holoceno médio, seguido por uma progradação de cordões litorâneos sobre os depósitos de lama do manguezal durante o Holoceno tardio. Nos últimos séculos, a vegetação de manguezal tem se estabelecido sobre a vegetação herbácea com uma tendência de aumento de matéria orgânica estuarina. A dinâmica dos manguezais do norte do Brasil, o aumento do Nível Relativo do Mar-NRM e a menor descarga do Amazonas durante o Holoceno inicial e médio resultaram em uma contínua faixa de manguezal que foi fragmentada durante o Holoceno tardio, devido ao aumento na descarga fluvial. Assim, a migração dos manguezais para zonas inferiores desde ~ 400 cal anos AP, seguida por um deslocamento inverso nas últimas décadas, foi causada por uma queda no NRM na escala de 500 anos e uma subida do NRM nas últimas décadas. No litoral do Rio Grande do Norte, o estabelecimento dos manguezais foi controlado basicamente pelo aumento do NRM até ~ 7000 cal anos AP, quando atingiu seu atual nível e estabilidade. Entretanto, no litoral sul da Bahia e do Espírito Santo, os manguezais migraram para superfícies mais elevadas na medida em que o NRM subiu até 3,4 m acima do atual NRM por volta de 5300 cal anos AP, acompanhado por uma diminuição na descarga fluvial. Posteriormente, o NRM desceu ao nível atual e ocorreu um aumento da descarga fluvial durante o Holoceno tardio. Durante os últimos séculos, os

manguezais de Linhares podem estar respondendo a uma elevação no NRM. Dessa maneira, baseado nesses dados, podemos projetar a dinâmica dos manguezais até o final do século XXI. Por isso, com um aumento do NRM, provavelmente, os litorais terão importantes perdas de áreas de manguezais, mediante o afogamento de suas florestas. O litoral norte, nordeste e sudeste brasileiro, mesmo com um aumento do NRM, tolerável pelos manguezais, o impacto do aumento do NRM sobre os manguezais dependerá da superfície topográfica disponível para a migração dos manguezais e da situação climática. A configuração geomorfológica e climática prejudicial aos manguezais é aquela em que ocorre uma limitada planície litorânea adequada para a migração dos manguezais na medida em que o NRM aumente, associada a um aumento na descarga fluvial. Dessa forma, além dos manguezais estarem sendo afogados pela brusca transição topográfica entre o planalto e a planície costeira, não haverá possibilidade de deslocamento dessas florestas no interior dos vales estuarinos e planícies deltaicas, visto que o aumento no volume da descarga fluvial inviabiliza o desenvolvimento de planícies de maré com salinidades apropriadas ao estabelecimento e a sobrevivência dos manguezais.

Palavras-chave: Carbono-14. Fácies sedimentares. Isótopos. Mudanças Climáticas. Palinologia. Sistemas deposicionais costeiros.

ABSTRACT

The present work integrates geomorphological, sedimentological, and palynological data with radiocarbon dating, as well as $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and C/N from sedimentary organic matter from Amapá, Rio Grande do Norte, Sul da Bahia e Espírito Santo. Along the northern littoral, the area occupied by mangroves and marine influenced were larger than today, between >8750 and ~ 2250 cal yr BP., forming a continuous mangrove belt. However, mangroves were replaced by freshwater vegetation in areas influenced by the Amazon River discharge during the late Holocene. The elevated tidal flats occupied by herbs indicate a transition from marine influence with mangroves to a phase dominated by herbs and terrestrial organic matter at about 400 cal yrs BP. During the last decades have occurred a mangrove migration trend to more elevated surfaces. The mangroves from the Ceará-Mirim River, Rio Grande do Norte, have occurred within the modern tidal range since ~ 7000 cal yrs BP, and was not found indications of marine influence above the modern tidal range. However, studies developed 34 km upriver on Jucuruçu River, Prado-Bahia, indicate mangroves and estuarine organic matter between ~ 7400 and ~ 5300 cal yrs BP. During the late Holocene, the mangroves migrated to the mouth of this river. Similar dynamic was identified along the Linhares littoral, Espírito Santo, where the upper limits of tidal flats were dominated by mangroves during the middle Holocene, followed by beach ridges progradation over mangrove muddy layers during the late Holocene. During the last centuries the mangroves have established over herbaceous plains with an increase trend of estuarine organic matter. Regarding the mangrove dynamic from Northern Brazil, the sea level rise and the lower Amazon fluvial discharge during the early and middle Holocene caused the development of a continuous mangrove line. It was fragmentated during the late Holocene due to the increase of river freshwater discharge that caused a significant decrease of tidal water salinity in areas near the mouth of Amazon River. The mangrove migration to lower zones since ~ 400 cal yrs BP was followed by an inverse displacement during the last decades. It was caused by a relative sea level fall in a century time scale and a relative sea level rise in a decadal time scale. In the Rio Grande do Norte littoral, the mangrove establishment was basically controlled by the post-glacial sea level rise up ~ 7000 cal yrs BP, when it reached its modern level. However, in Prado, southern Bahia littoral, and Linhares, Espírito Santo, mangroves migrated to higher surface according to sea level rise until 2.7 m above the modern Relative Sea Level-RSL, together with a decrease of fluvial discharge at about 5300 cal yrs BP. Later, the RSL decreased to its modern level and occurred an increase of fluvial discharge during the late Holocene. During the last centuries,

the mangroves from Linhares may have reacted to a relative sea level rise. Based on these data, is possible to anticipate the mangrove dynamic until the end of century XXI. Considering RSL rises, probably, the mangrove areas along the Brazilian littoral will shrink by its drowning. Regarding the north, northeast and southeastern littoral, even with a RSL rise tolerable by mangroves, the consequences of the RSL rise to mangroves will depend on topographic surface available to its migration and climatic conditions. The geomorphologic and climatic setting more damaging to mangrove is one with a limited coastal plain suitable for mangrove migration under a RSL rise associated to an increase of fluvial discharge. In this situation, besides the mangroves are being drowned by a sharp topographic transition between the coastal plateau and the coastal plain, there would be no possibility of mangrove displacement within the estuarine valleys and deltaic plains, because the increase of fluvial discharge would hamper the development of tidal plains with appropriate pore water salinities to establishment and survival of mangroves.

Keywords: Carbon-14. Climate changes. Coastal depositional systems. Isotopes. Sedimentary facies. Palynology.



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

PARECER

Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de **IGOR CHARLES CASTOR ALVES**

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **IGOR CHARLES CASTOR ALVES** orientando do Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA), composta pelos professores doutores Paulo César Fonseca Giannini (USP), Marcus Emanuel Barroncas Fernandes (UFPA), Nils Edvin Asp Neto (UFPA) e José Augusto Martins Corrêa (UFPA), após apresentação da sua tese intitulada “**RESPOSTA DOS MANGUEZAIS DO AMAPÁ, DO RIO GRANDE DO NORTE, DO SUL DA BAHIA E DO ESPÍRITO SANTO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DO MAR DURANTE O HOLOCENO**” emite o seguinte parecer:

O candidato apresentou contribuição relevante ao conhecimento sobre a evolução do manguezal durante o Holoceno em três áreas costeiras do Brasil. Na apresentação oral, demonstrou segurança e expôs com clareza e uso adequado de recursos didáticos os principais métodos e resultados de sua Tese. O documento encontra-se bem estruturado e tem potencial para gerar publicações de nível internacional. A banca fez sugestões de aprimoramentos de forma e conteúdo e destacou a importância de se distinguir, na produção do registro estratigráfico, os efeitos de variação da linha de costa daqueles de fato gerados por flutuações do nível relativo do mar. Durante a arguição, o candidato demonstrou domínio sobre os seus dados e capacidade de argumentação científica. Finalmente, ressalta-se que a conclusão da tese ocorreu em 53 meses. Desta forma, a comissão avaliadora considera o candidato aprovado.

Belém, 15 de setembro de 2016.

Marcelo Cancela Lisboa Cohen (Orientador - UFPA)

Paulo César Fonseca Giannini (USP)

Marcus Emanuel Barroncas Fernandes (UFPA)

Nils Edvin Asp Neto (UFPA)

José Augusto Martins Corrêa (UFPA)