



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

TESE DE DOUTORADO

**GEOMORFOLOGIA, MUDANÇAS NA FONTE DE MATÉRIA
ORGÂNICA E VEGETAÇÃO EM PLANÍCIES DE MARÉ
PRÓXIMAS A FOZ DO RIO AMAZONAS DURANTE O
HOLOCENO**

Tese apresentada por:

JOSÉ TASSO FELIX GUIMARÃES

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

**BELÉM
2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

G963g Guimarães, José Tasso Felix

Geomorfologia, mudanças na fonte de matéria orgânica e vegetação em planícies de maré próximas a foz do rio Amazonas durante o Holoceno / José Tasso Felix Guimarães; Orientador: Marcelo Cancela Lisboa Cohen – 2011
xviii, 126 f.: il.

Tese (doutorado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2011.

1. Sedimentologia – Amapá (AP). 2. Estratigrafia. 3. Palinologia. 4. Holoceno. 5. Planícies de maré. I. Cohen, Marcelo Cancela Lisboa, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.: 552.5098116



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

**GEOMORFOLOGIA, MUDANÇAS NA FONTE DE MATÉRIA
ORGÂNICA E VEGETAÇÃO EM PLANÍCIES DE MARÉ
PRÓXIMAS A FOZ DO RIO AMAZONAS DURANTE O
HOLOCENO**

TESE APRESENTADA POR

JOSÉ TASSO FELIX GUIMARÃES

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

Data de Aprovação: 11/11/2011

Banca Examinadora:

Prof. Dr. MARCELO CANCELA LISBOA COHEN
(Orientador - UFPA)

Prof. Dr. AFONSO CÉSAR RODRIGUES NOGUEIRA
(Membro - UFPA)

Prof.ª Dr.ª MARIA INÊS FEIJÓ RAMOS
(Membro - MPEG)

Prof.ª Dr.ª SUSY ELI MARQUES GOUVEIA
(Membro - UFPA)

Prof. Dr. LUIZ CARLOS RUIZ PESSENDA
(Membro - USP)

*A OXALÁ,
aos meus pais Hélio e Lourdes,
e meu irmão Marcelo Guimarães*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen pelos ensinamentos, amizade, sugestões e críticas para o bom andamento do trabalho. Ao Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira pela atenção, paciência, amizade e críticas que auxiliaram este “paleobotânico” a admirar imensamente a estratigrafia e sedimentologia. Ao Prof. Dr. Werner Truckenbrodt pelos ensinamentos sobre processos e respostas em sistemas sedimentares dominados por maré. Ao Prof. Dr. Luiz Pessenda pela amizade e apoio nas discussões isotópicas. Ao Prof. Dr. Hermann Behling pela contribuição nas discussões palinológicas.

Marlon Carlos França e Yuri Friaes pela amizade, dedicação e auxílio nos trabalhos de campo. À MSc. Any Terra pelo carinho e esforço durante o desenvolvimento desta tese. Aos membros do Grupo Análise de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED), dentre eles Luiz Saturnino e Max Roza pela amizade e discussões. À Suyanne Flávia pela amizade e apoio nas questões mineralógicas e geoquímicas. À Cleida Freitas pela amizade e eficiência com os assuntos da secretaria do PPGG.

Aos membros Laboratório de Dinâmica Costeira - UFPA e Laboratório de Carbono 14 - Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) dentre eles Álvaro Júnior e Jaime Júnior, Universidade de São Paulo-USP pela amizade e suporte. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão da bolsa de estudos (Processo 143518/2008-9). Este estudo foi financiado pelo CNPQ (Processo 562398/2008-2).

RESUMO

Dados geomorfológicos, fácies sedimentares, pólen, esporos, isótopos do carbono e nitrogênio, razão C/N e datações por ^{14}C permitiram a identificação e discussão sobre a relação entre os principais processos morfológicos, sinais climáticos e suas influências nos padrões de vegetação das planícies de maré próximas a foz do Rio Amazonas durante os últimos 5500 cal anos AP. Assim, os resultados da margem do Rio Amazonas (área da cidade de Macapá, Amapá) indicam influência marinha relacionada à presença de manguezal em planícies lamosas de maré entre 5560 - 5470 anos AP e 5290 - 5150 anos AP. Posteriormente, a área de manguezal retraiu seguindo o retorno de condições mais úmidas e aumento da descarga do Rio Amazonas. Um processo comum de retrabalhamento da planície de maré através da migração lateral de um canal meandrante ocorreu na área de estudo, com desenvolvimento subsequente de uma vegetação transicional sob influência de água doce. Seguindo a sucessão natural da vegetação em condições climáticas e hidrológicas estáveis, a expansão das florestas de várzea (vegetação inundada por água doce) ocorreu desde 600 - 560 cal anos AP até o presente. Além disso, considerando as planícies de maré localizadas a oeste da foz do Rio Amazonas (área da cidade do Amapá, Amapá), estas condições estáveis também favoreceram a permanência do manguezal nas planícies de maré com deposição de matéria orgânica marinha durante, pelo menos, os últimos 2350 - 2300 cal anos AP. Dados de geomorfologia, salinidade da água, altura máxima de inundação, séries históricas de chuvas e fácies sedimentares foram utilizadas na análise das unidades morfológicas e geobotânicas, e suas mudanças de curto período para entender os principais processos atuantes em planícies de maré a noroeste da foz do Rio Amazonas (área da cidade de Calçoene, Amapá) durante os últimos 30 anos. Assim, esta área de estudo foi subdividida em planalto e planície costeira. O planalto costeiro apresenta uma superfície plana a levemente ondulada modelada por processos erosivos. Avulsão de canais aluviais e feição *birdfoot* possivelmente relacionada a seis lobos deltaicos foram também identificadas neste compartimento. A vegetação é representada por várzea e cerrado. A planície costeira tem um comprimento médio de 10 km, e apresenta canal fluvial de maré, paleocanais, lagos, várzea, campos herbáceos, manguezal, cadeias de *chenier*, barras lamosas alongadas de maré, planícies lamosas e mistas de maré (não vegetada). As fácies sedimentares indicam ambientes dominados por onda e maré. A presença de lagos e cinturão de lagos, coexistência dos campos herbáceos e manguezal na planície costeira podem estar relacionados ao abandono e preenchimento de canais de maré. A análise temporal destas feições indica redução da área do cerrado, expansão das áreas de várzea e manguezal, e formação de extensas planícies lamosas de maré durante os períodos

mais secos sob influência do El Niño. Os períodos mais úmidos sob influência do La Niña provavelmente favoreceu o aumento das áreas de várzea e lagos sobre as áreas de cerrado, e a expansão do manguezal. Desta forma, a diminuição dos índices de chuva durante o El Niño pode ter reduzido o influxo do Rio Calçoene e permitido um aumento da propagação da maré, transporte e deposição de lama ao longo do canal fluvial de maré e seus canais secundários com posterior desenvolvimento do manguezal e estabilização do substrato lamoso próximo a linha de costa durante o La Niña. Considerando uma escala de tempo maior, durante o Holoceno médio e superior, a análise dos dados de morfologia, fácies sedimentares, palinologia, isótopos do carbono e nitrogênio das planícies de maré da cidade de Calçoene-Amapá, indicou que esta planície apresentou alternâncias entre ambientes de supra e intermaré. A porção proximal desta planície está relacionada ao setor transicional entre o planalto e a planície costeira, e representa o estágio final de preenchimento de uma feição côncava para cima formada por um canal abandonado que contribui para o acúmulo de água sob fluxos de energia muito baixos, estabelecimento de pteridófitas e outros vegetais terrestres ao redor do lago formado desde 5280 - 5160 cal anos AP. Durante os últimos 2840 - 2750 cal anos AP, a fonte de lama cessou e matéria orgânica autóctone tornou-se predominante, assim como o aumento na contribuição de matéria orgânica terrestre (plantas C3), principalmente representada pela vegetação de várzea. Campos herbáceos já colonizavam a planície de maré durante os últimos 3170 - 2970 cal anos AP. Entretanto, parte da porção distal da planície de maré relacionada com os campos herbáceos foi coberta por cadeias de chenier entre 3170-2970 e 220-140 cal anos AP. O estabelecimento do manguezal, caracterizado por matéria orgânica estuarina, pólen de *Rhizophora* e *Avicennia*, ocorreu após 1350-1290 cal yr B.P e 220-140 cal anos AP na áreas do G3 e G2, respectivamente. Este padrão de empilhamento dos sedimentos indicando retrogradação, com fácies distais sobre fácies proximais, e transição gradual do depósito herbáceo para o depósito de manguezal sugere que a criação de espaço de acomodação pode ter sido produzida durante um aumento da ação de ondas, frequência de inundação da maré e evolução de canais secundários na área de estudo como resultado de um aumento progressivo no nível relativo do mar. A integração de todos estes dados sugere que os processos morfológicos, padrões de vegetação e as fontes de matéria orgânica das planícies de maré de Calçoene, Amapá e Macapá foram influenciados pela interação entre o nível relativo do mar, mudanças climáticas e hidrológicas, e dinâmica dos canais de maré durante o Holoceno.

Palavras-chave: Sedimentologia - Amapá (AP). Estratigrafia. Palinologia. Holoceno. Planícies de maré

ABSTRACT

Geomorphological data, sedimentary facies, pollen, spores, carbon and nitrogen isotopes records, C/N ratio and radiocarbon dates allowed the identification and discussion about the relationship between the main morphological process, climatic signals and its influence on vegetation patterns of tidal flats near the mouth of the Amazon River during the last 5500 cal yr B.P. Therefore, data from the margin of Amazon River (Macapá site) indicate marine influence related to mangrove presence over a tidal mud flat between 5560 - 5470 cal yr BP and 5290 - 5150 cal yr BP. Afterward, the mangrove area shrank following the return of more humid conditions and increase of Amazon River discharge. A common reworking process of the tidal flat through the lateral migration of a meandering creek occurred in the study site, with later development of transitional vegetation under freshwater influence. Following the natural vegetation succession under stable climate and hydrological conditions, the expansion of *várzea* forests occurred since 600 - 560 cal yr BP until the present. Furthermore, regarding the tidal flats located west of the mouth of Amazon River (Amapá site), these stable conditions also allowed the mangrove maintenance over mudflats with deposition of marine organic matter during at least the last 2350 - 2300 cal yr BP. Processing and interpretation methods in optical and synthetic aperture radar (SAR) images, data of water salinity, maximum height of flood, historical rain series and sedimentary facies were used in the analysis of the morphological and geobotanical units, and its short-term changes to understand the main processes acting on the tidal flats downdrift of the Amazon River mouth (Calçoene site) during the last 30 years. Thus, the study area was subdivided in two main compartments: coastal plain and plateau. The coastal plateau presents a flat to gently undulated surface shaped by erosive process. Avulsion of alluvial channel and birdfoot feature possibly related to six deltaic lobes were also identified in this compartment. The vegetation is represented by *várzea* (flooded freshwater forests) and savannah. The coastal plain has an average length of 10 km, and it presents the tidal-fluvial channel, paleochannels, lakes, *várzea*, inundated field (herbaceous field), mangrove, chenier ridges, elongated tidal mud bars, tidal mud and mixed flat (non-vegetated). The sedimentary facies indicate tide and wave-dominated environments. The presence of lakes and lake belts, coexistence of herbaceous field and mangrove in the coastal plain may be related to silting and abandonment of tidal channels. The temporal analysis of these features indicates the savannah contraction, expansion of *várzea* and mangrove areas and formation of extensive mud tidal flats during drier period under the influence of El Niño. The wetter period under the influence of La Niña probably allowed the increase of *várzea* and lakes over the savannah areas, and the expansion

of mangrove. Therefore, the decrease of rainfall index during El Niño may have reduced the Calçoene River inflow and favored an increase of tidal propagation, transport and deposition of mud along the tidal-fluvial channel and its secondary channels with subsequent development of mangrove and stabilization of muddy substrate near the coastline in La Niña. Considering a longer time scale during the mid and late Holocene, the analysis of morphology, sedimentary facies, palynological, carbon and nitrogen isotopes, C/N and radiocarbon data from tidal flats in the Calçoene site, indicates that vegetation development during the mid and late Holocene occurred influenced by the interaction relative sea-level and tidal channel dynamic. The data indicate a mud-rich tidal flat that presents alternations between supra and intertidal environments. The proximal portion of the tidal flat is related to the transitional sector between the costal plateau and plain and represents the final filling stage of the concave-up feature formed by the abandoned channel that contributed to water accumulation under very low energy flows, fern and other terrestrial vegetation establishment surrounding the formed lake since 5280 - 5160 cal yr BP. During the last 2840 - 2750 cal yr BP, the source of mud ceased and autochthonous organic material became prevalent as well as the increase in contribution of terrestrial organic matter (C3 plants), mainly represented by *várzea* vegetation. Herbaceous field already colonized the tidal flat at least during the last 3170 - 2970 cal yr BP. However, part of distal portion of the tidal flat related to the herbaceous field was covered by chenier ridges between 3170-2970 and 220-140 cal yr BP. The mangrove establishment, characterized by estuarine organic matter, *Rhizophora* and *Avicennia* pollen, occurred after 1350-1290 cal yr B.P and 220-140 cal yr B.P. on G3 and G2 site, respectively. This stacking pattern of sediments indicating a retrogradation, with distal facies over proximal facies, and gradual transition of herbaceous to mangrove sediment (e.g. G3 site) suggesting that the creation of accommodation space may be produced during an increase of wave action, tidal inundation frequency and evolution of secondary channels in the study site as a result of progressive relative sea-level rise. The integration of all these data suggests that the morphological process, vegetation patterns and sources of organic matter from tidal flats of Calçoene, Amapá and Macapá sites was influenced and conditioned by the interaction between relative sea-level, climatic and hydrological changes, and tidal channel dynamic during the Holocene.

Keywords: Sedimentology - Amapá (AP). Stratigraphy. Palynology. Holocene. Tidal flats.



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 JOSÉ TASSO FELIX GUIMARÃES

A banca examinadora da tese de doutorado de JOSÉ TASSO FELIX GUIMARÃES, intitulada “GEOMORFOLOGIA, MUDANÇAS NAS FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA E DA VEGETAÇÃO EM PLANÍCIES DE MARÉ PRÓXIMAS A FOZ DO RIO AMAZONAS DURANTE O HOLOCENO”, composta pelos Professores Doutores Marcelo Cancela L. Cohen (Orientador-UFPA), Afonso Cesar R. Nogueira (UFPA), Maria Inês F. Ramos (MPEG), Susy Eli Marques Gouvea (UFPA) e Luiz Carlos Ruiz Pessenda (USP) após a apresentação oral e arguição do candidato, emite o seguinte parecer:

O candidato apresentou contribuição relevante ao conhecimento sobre a dinâmica e desenvolvimento das planícies de maré do litoral do Amapá no que se refere a sua geomorfologia, vegetação, aporte de matéria orgânica, e estruturas sedimentares desenvolvidas durante o Holoceno. O candidato mostrou segurança durante a exposição de seu trabalho, com uma apresentação clara, didática, bem estruturada e de conteúdo relevante, demonstrando conhecimento da literatura e dos dados palinológicos, isotópicos e sedimentológicos apresentados. Na arguição o candidato defendeu muito bem sua Tese, respondendo as várias questões gerais e específicas. O documento está bem redigido e bem estruturado, no qual seu conteúdo se encontra na forma de três artigos, sendo um já publicado, um segundo em revisão e um terceiro submetido. Destaca-se o fato do candidato ter defendido sua Tese em 36 meses, portanto antes do prazo estipulado de 48 meses.

Com base no exposto, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a Tese de doutorado, “COM DISTINÇÃO”.

Belém, 11 de novembro de 2011.

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

Prof. Dr. Afonso Cesar R. Nogueira
(Membro-UFPA)

Prof.ª Dr.ª Maria Inês F. Ramos
(Membro-MPEG)

Prof.ª Dr.ª Susy Eli Marques Gouvea
(Membro-UFPA)

Prof. Dr. Luiz Carlos R. Pessenda
(USP)