



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

TESE DE DOUTORADO N° 113

**O PERMO-TRIÁSSICO DA BACIA DO PARNAÍBA, NORTE
DO BRASIL: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS,
PALEOCLIMÁTICAS E PALEO GEOGRÁFICAS PARA O
PANGEA OCIDENTAL**

Tese apresentada por:

FRANCISCO ROMÉRIO ABRANTES JÚNIOR

Orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira

BELÉM-PA

2016

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

Abrantes Júnior, Francisco Romério, 1987-

O Permo-Triássico da Bacia do Parnaíba, norte do Brasil: implicações paleoambientais, paleoclimáticas e paleogeográficas para o Pangea Ocidental / Francisco Romério Abrantes Júnior. - 2016.

Orientador: Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira.

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

1. Geologia estratigráfica - Permiano. 2. Geologia estratigráfica - Triássico. 3. Parnaíba, Rio, Bacia. 4. Pangea (Supercontinente). I. Título.

CDD 22. ed. 551.756



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

**O PERMO-TRIÁSSICO DA BACIA DO PARNAÍBA, NORTE
DO BRASIL: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS,
PALEOCLIMÁTICAS E PALEOGEOGRÁFICAS PARA O
PANGEA OCIDENTAL**

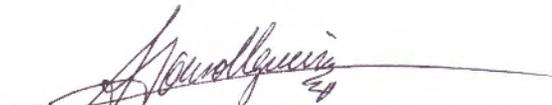
TESE APRESENTADA POR

FRANCISCO ROMÉRIO ABRANTES JÚNIOR

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

Data da Aprovação: 03 / 06 / 2016

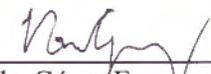
Banca Examinadora:



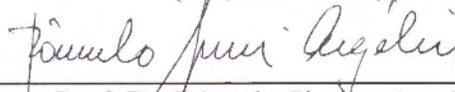
Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
(Orientador - UFPA)



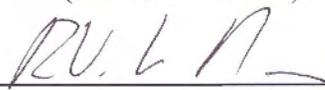
Prof. Dr.ª Ana Maria Góes
(Membro - USP)



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



Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica
(Membro - UFPA)



Prof. Dr. Roberto Vizeu Lima Pinheiro
(Membro - UFPA)

*À Brenda Abrantes e aos nossos pequenos, Fleur e Luke
Aos meus pais, Francisco e Selma
Em memória de Maria das Neves Quirino*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre estar comigo, guiando e protegendo.

A minha família, em especial a minha esposa Brenda Abrantes, pelo seu amor, compreensão e incentivo em todas as etapas deste trabalho. Estar ao seu lado me faz muito bem. Te amo! Aos meus pais Francisco Abrantes e Selma Abrantes, e meus irmãos Arthur e Patrícia, pelo carinho, educação e apoio.

A Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) pela infraestrutura oferecida.

A CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao prof. Dr. Afonso Nogueira, pela orientação, ensinamentos e, principalmente, pela sua contribuição científica.

Aos professores Dr. Rômulo Angélica e Dr. Werner Truckenbrodt, grandes incentivadores deste trabalho.

Aos professores Dr. Joelson Soares e Dr. José Bandeira pela enorme contribuição acadêmica.

A Joelma Lobo do Laboratório de Laminação da UFPA, por sempre se disponibilizar a ajudar na preparação das amostras.

Aos graduandos Leonardo Freitas e Lino Machado, além do motorista Nazareno, pelo acompanhamento e auxílio nas atividades de campo.

Ao geólogo Alexandre Castelo pela ajuda na elaboração dos mapas.

Ao professor Dr. Vladimir Távora, pelos conselhos e incentivo durante todos esses anos de amizade.

A professora Dr^a Rosemery Nascimento pelo apoio desde a graduação e, principalmente, pela motivação na etapa final deste trabalho. Meu sincero obrigado.

A professora Dr^a Vânia Barriga pelo incentivo, ensinamentos e ‘puxões de orelha’.

Aos meus amigos Hudson Santos, Kamilla Borges, Isaac Salém e Jhon Afonso: “O homem que tem muitos amigos pode congratular-se, mas há amigo mais chegado do que um irmão” (Pv 18:24). Meu muito obrigado!

Aos amigos Almir Costa e Cleidy Pinheiro pelas longas conversas e momentos de descontração proporcionados. Que a Força esteja com vocês!

Aos amigos da CPRM Fhabio, Erica, PH, Marcely, Pedro, Elem, Elyana, Gisele, Reinaldo, César, Sheila e Alexandre, pelas trocas de conhecimento e idéias, jogatinas e pela amizade.

Aos integrantes do GSED (Franco, Walmir, Caio, Lucas, Renato, Sebastian, Ailton, Dr. Isaac, Dr. César e Dr. Anderson) e, em especial, aos meus amigos Cleber Eduardo, Pedro Augusto, Luís Saturnino, e Alexandre Ribeiro, pelas conversas e por proporcionarem um ambiente de estudo e trabalho agradável.

Finalmente, agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram para a conclusão deste trabalho. Obrigado!

*“Do meu telescópio, eu via Deus caminhar!
A maravilha, a harmonia e a organização
do universo só pode ter se efetuado
conforme um plano de um ser todo-
poderoso e onisciente.”*

Isaac Newton

RESUMO

O Permo-Triássico foi marcado pelo maior evento de extinção em massa da história geológica da Terra, com a perda de 90-95% das espécies marinhas e terrestres, estando relacionado a mudanças paleogeográficas e paleoclimáticas, em parte atribuídas a eventos catastróficos. No final do Permiano, condições áridas prevaleceram em todo o globo como consequência da queda eustática do nível do mar, do desaparecimento das áreas glaciais e da multiplicação de bacias fechadas. Estas condições somadas à intensa continentalização do Pangea propiciaram a desertificação do supercontinente com o desenvolvimento de extensos desertos e complexos de *sabkha*. Os registros desses eventos no norte do Brasil são encontrados nas bacias intracratônicas, particularmente na Bacia do Parnaíba, representados pela sucessão siliciclástica-evaporítica do Grupo Balsas, que inclui as formações Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba. Sete associações de fácies foram reconhecidas: (1) Lacustre dominado por planícies de lama, representado pela intercalação de pelitos cinza esverdeados/avermelhados e arenitos finos com expressivo conteúdo de sílex; (2) Campo de dunas marginal constituído por estratos cruzados de arenitos finos a médios; (3) Lagos de *playa* perenes, consistindo predominantemente de pelitos vermelhos laminados com descontínuas camadas de arenitos sigmoidais; (4) Planície de lama salina / Panela salina, representadas por camadas de pelitos intercaladas a lentes de gipsita, calcário e marga; (5) Lençol de areia, constituído por estratos planos lateralmente contínuos de arenitos finos a médios com laminação convoluta, falhas/microfalhas sinsedimentares e estruturas de adesão; (6) Campo de dunas, formado por arenitos finos a médios com estratificações cruzadas de grande porte; e (7) Planície vulcânica, consistindo de basaltos e arenitos intercalados. Durante o Permiano Médio, amplas planícies marcadas pela alternância de fases lacustres rasas a profundas e planícies de lama em *sabkhas* continentais (AF1) se estendem na zona tropical das porções oeste e central do Pangea. Esta ciclicidade refletia a sazonalidade de fases úmidas e secas, condicionadas por variações no nível freático, baixa taxa de subsidência e limitado espaço de acomodação. As fases secas mais prolongadas eram caracterizadas pelo avanço dos campos de dunas marginais (AF2) e o estabelecimento de amplas planícies de lama secas. O contínuo processo de amalgamação do Pangea durante o Permiano Superior propiciou o soerguimento das regiões equatoriais e centrais do supercontinente, ocasionando a retração dos mares epicontinentais, o surgimento de extensas bacias fechadas (AF3) e a formação de lagos salinos efêmeros extremamente ácidos, planícies de lama salinas e painelas salinas (AF4). Petrograficamente, os evaporitos das painelas salinas exibem feições de precipitação primária

a eodiagenética de gipsita e anidrita, posteriormente afetados por processos telodiagenéticos. A extrema aridez favoreceu a retração destes grandes lagos e a implantação definitiva de um *Erg* triássico. Lençóis de areia ocorriam na porção marginal do *Erg*, contendo lagoas efêmeras e abundantes regiões úmidas (AF5). Extensos campos de dunas avançavam conforme aumentava a disponibilidade de sedimentos, enquanto superfícies de deflação eram formadas pela supressão parcial do suprimento sedimentar (AF6). A supressão total de sedimentos para o *Erg* no Triássico Superior proporcionou uma deflação extrema e regional que ocasionou na formação de uma superfície extremamente plana que assentou rochas vulcânicas eojurássicas (AF7). A análise deformacional da sucessão estudada identificou pelo menos três diferentes níveis de deformação sinsedimentar: (I) feições híbridas rúptil-dúctil na zona de contato entre as formações Motuca e Sambaíba; (II) dobras e convoluções de médio porte na porção intermediária dos estratos eólicos da Formação Sambaíba; (III) injetitos nos arenitos *intertraps* da Formação Mosquito. Estes três níveis de camadas deformadas são separados por intervalos de estratos não deformados ou ligeiramente deformados, podendo mostrar lateralmente um aumento gradual da intensidade da deformação. O nível de deformação I ocorre na zona de contato entre as formações Motuca e Sambaíba e é representado por um conjunto de feições híbridas (rúptil-dúctil). A continuidade lateral deste intervalo por centenas de quilômetros, somada ao aumento do grau de deformação na região de Riachão e a concentração anômala de elementos traços (Cr, Co, Cu, Mn, Au, Pd e Pt), são compatíveis com abalos sísmicos de alta magnitude, provavelmente induzidos por impacto meteorítico (astroblema de Riachão). O nível de deformação II é formado por um conjunto de dobras desarmônicas na parte intermediária da Formação Sambaíba. Originou-se por processos autocíclicos relacionados a deformação hidroplástica de sedimentos pela migração e sobrepeso de dunas/*draas*. O terceiro intervalo consiste em diques de arenito nas rochas vulcânicas eojurássicas da Formação Mosquito. Estes diques foram formados pela injeção hidráulica de areia durante o aumento de gradiente térmico induzido pelo magmatismo básico durante a fase pré-rifte do Pangea Ocidental.

Palavras-chave: Sistema desértico. Evaporitos. Permo-Triássico. Bacia do Parnaíba. Pangea Ocidental.

ABSTRACT

The Permo-Triassic was marked by the great mass extinction of geological Earth history with losses of 90-95% of marine and terrestrial species. These were related to paleogeographic and paleoclimatic changes in part assigned to catastrophic events. In the end of Permian, arid conditions prevailed around the world as a consequence of eustatic sea level fall added to disappearance of glacial areas and large-scale closed basins multiplication. These conditions combined with the intense continentalization of Pangea supercontinent led to desertification with the development of large desert and sabka complexes. In the northern of Brazil the records of these events are found in intracratonic basins, particularly in the Parnaíba Basin. This is represented by siliciclastic-evaporitic succession from Balsas Group compound by Pedra de Fogo, Motuca and Sambaíba formations. It was recognized seven facies associations: (1) Lacustrine mudflat dominated, represented by greenish/reddish gray laminated mudstones interbedded with fine-grained sandstones and great chert content; (2) Marginal dune fields consisting of planar cross-stratified beds of fine- to medium-grained sandstones; (3) Perennial playa lake consisting dominantly of red laminated mudstones with discontinuous layers of sigmoidal sandstones; (4) Saline mudflat / Saline pan represented by reddish laminated mudstones interbedded with lenses of gypsum, limestone, and marl; (5) Sand sheet laterally consisting of continuous fine- to medium-grained sandstones with convoluted lamination, synsedimentary faults/microfaults and adhesion structures; (6) Dune fields formed by fine- to medium-grained sandstones with large-scale cross-bed sets; and (7) Volcanic plain, consisting of basalts interbedded with sandstones. During Middle Permian, the alternating between continental sabkha mudflats and shallow to deep lacustrine phases occurred in large plains in the tropical zone of western to central Pangea (AF1). This cyclicity reflected the seasonal wet and dry phases triggered by changes in the water level, low subsidence rate and narrow accommodation space. The prolonged dry stages were characterized by the advance of the marginal dune fields (AF2) as well as by establishment of large dry mudflats. In the Upper Permian, the continuous amalgamation process of supercontinent Pangea led to the uplift of central and equatorial regions resulting in the retreat of epicontinental seas. However, there were the appearance of large-scale closed basins (AF3) and extremely acid saline ephemeral lakes with saline mudflats and pans (AF4). Petrographically, the evaporate from saline pans display primary features of precipitation to eodiagenetic of gypsum and anidrite posteriorly affected by telodiagenetic processes. The extreme aridity conditions favored the decline of these great lakes and the definitive

implementation of Triassic Erg. Sand sheets occurred in the marginal portion of this Erg, containing abundant ephemeral ponds and humid regions (AF5). Large dune fields advancing as consequence of the sediment availability increase, while deflation surfaces were produced by partial removal of sediment supply (AF6). The total interruption of sediment supply to the Erg in the Late Triassic provided an extreme and regional deflation surface overlapping by eoJurassic volcanic rocks (AF7). The deformational analysis of the studied succession identified three different synsedimentary deformational levels at least: (I) brittle-ductile hybrid features in the contact zone between the Motuca and Sambaíba formations; (II) folds and medium-sized convolution in the middle portion of the eolic strata of Sambaíba Formation; (III) Injectites in the intertraps sandstones from Mosquito Formation. These three levels of deformed layers are separated by non- or slightly-deformed strata intervals, laterally may show a gradual increase of deformation intensity. The deformation level I occurs in the contact zone between Motuca and Sambaíba formations represented by a set of hybrid (brittle-ductile) features. Lateral continuity of this interval for hundreds of kilometers added to the increase in the deformation degree in the Riachão area. Furthermore, the anomalous concentration of trace elements (Cr, Co, Cu, Mn, Au, Pd, and Pt) are consistent with earthquakes of high magnitude probably product of meteoritic impact (Riachão structure). The level of strain II is marked by a set of inharmonious folds in the middle part of Sambaíba Formation. These are originated by autocyclic processes related to hydroplastic deformation of sediments of sediments by dunes/draas migration and overweight. The third interval it is composed by sandstone dikes in an eoJurassic volcanic rocks of Mosquito Formation. These dams were formed by hydraulic injections of sand leading to a thermal gradient increase induced by basic magmatic activities during the pre-rift phase in the Western Pangea.

Keywords: Desertic System. Evaporites. Permo-Triassic. Parnaíba Basin. Western Pangea.



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 **FRANCISCO ROMÉRIO ABRANTES JÚNIOR**

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **FRANCISCO ROMÉRIO ABRANTES JÚNIOR** orientando do Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA), composta pelos professores doutores Ana Maria Góes (USP), Paulo César Fonseca Giannini (USP), Rômulo Simões Angélica (UFPA), e Roberto Vizeu Lima Pinheiro (UFPA), após apresentação da sua tese intitulada “**O PERMO-TRIÁSSICO DA BACIA DO PARNAÍBA, NORTE DO BRASIL: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS, PALEOCLIMÁTICAS E PALEOGEOGRÁFICAS PARA O PANGEA OCIDENTAL**” emite o seguinte parecer:

O candidato apresentou contribuição relevante ao conhecimento sobre a evolução paleoambiental e paleogeográfica do intervalo Permiano-Triássico na Bacia do Parnaíba. O documento está bem apresentado na forma de três artigos dos quais um já está aceito para publicação. A apresentação oral foi bem estruturada e de conteúdo relevante para a área de estudo da pesquisa. O candidato mostrou capacidade de síntese e na arguição defendeu positivamente sua tese, demonstrando maturidade científica. Finalmente, ressalta-se que a conclusão da tese ocorreu em 38 meses.

Com base no exposto, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado com distinção.

Belém, 03 de junho de 2016.



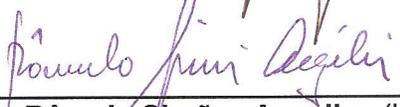
Afonso César Rodrigues Nogueira (Orientador – UFPA)



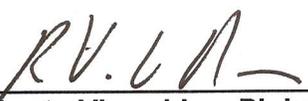
Ana Maria Góes (USP)



Paulo César Fonseca Giannini (USP)



Rômulo Simões Angélica (UFPA)



Roberto Vizeu Lima Pinheiro (UFPA)