



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

TESE DE DOUTORADO Nº 146

**O PENNSILVANIANO DA BACIA DO PARNAÍBA, NORTE DO
BRASIL: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS,
PALEOGEOGRÁFICAS E EVOLUTIVAS PARA O
GONDWANA OCIDENTAL**

Tese apresentada por:

RENATO SOL PAIVA DE MEDEIROS

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

**BELÉM
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)

M488p Medeiros, Renato Sol Paiva de

O Pensilvaniano da Bacia do Parnaíba, norte do Brasil : implicações paleoambientais, paleogeográficas e evolutivas para o Gondwana Ocidental / Renato Sol Paiva de Medeiros. — 2020.

xix, 132 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
Coorientador(a): Prof. Dr. Thomas J. Algeo

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Pensilvaniano. 2. Mar epicontinental Itaituba-Piauí. 3. Paleoclima. 4. Ciclotema. I. Título.

CDD 551.7



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



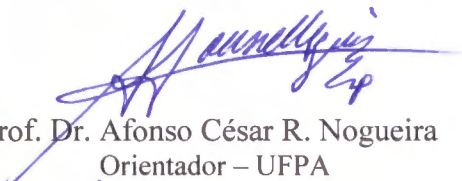
**O PENNSILVANIANO DA BACIA DO PARNAÍBA, NORTE DO
BRASIL: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS,
PALEOGEOGRÁFICAS E EVOLUTIVAS PARA O
GONDWANA OCIDENTAL**


TESE APRESENTADA POR
RENATO SOL PAIVA DE MEDEIROS


**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de
GEOLOGIA, linha de pesquisa ANÁLISE DE BACIAS SEDIMENTARES**


Data de Aprovação: 21 / 02 / 2019

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Afonso César R. Nogueira
Orientador – UFPA


Prof. Dr. Joelson Lima Soares
Membro – UFPA


Prof.ª Dr.ª Ana Maria Góes
Membro – USP


Prof. Dr. Werner Truckenbrodt
Membro - UFPA


Prof. Dr. Guilherme Raffaeli Romero
Membro – USP

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a deus, meu pai e conselheiro, por todas as bênçãos e graças alcançadas, e pela sabedoria, força e paciência concedida durante os momentos de maior dificuldade.

A minha família, em especial a minha mãe, mulher gentil, humilde e batalhadora, que sempre trabalhou muito para nunca faltar nada aos filhos.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, código de financiamento 001 e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq nº 141968/2016-8) pela concessão da bolsa de doutorado

Ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências e Universidade Federal do Pará (UFPA) pela infraestrutura disponível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira, pelos constantes desafios, que me motivaram a progredir a cada dia.

Ao Prof. Dr. Thomas Algeo, da Universidade de Cincinnati, que me recebeu durante o intercâmbio com muita simpatia, e foi indispensável ao progresso do trabalho.

Aos Professores Dr. Werner Truckenbrodt e José Bandeira pelos trabalhos de campo e críticas que ajudaram a encorpar os questionamentos abordados no trabalho.

A Prof.^a Dr.^a Karina Scomazzon, pela amizade, simpatia e pela grande colaboração na descrição e identificação dos microfósseis.

Ao Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão, a Geóloga Gisele e a técnica Paula, pela disponibilização e auxílio no laboratório de microscopia eletrônica de varredura (LabMEV).

Ao Prof. Dr Alcides Nobrega Sial e ao laboratório que coordena Labise, pela indispensável ajuda nas análises de isótopos estáveis.

Ao Prof. Dr Joelson Soares e Ms^a. Raissa, pela ajuda na obtenção de imagens de catodoluminescência.

Ao Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica pela disponibilidade do laboratório de difração de raio-x e pela paciência e gentileza em esclarecer as minhas dúvidas quando procurado.

Ao técnico Afonso Quaresma pela dedicação e paciência durante as atividades de campo.

Ao Dr. Guilherme Raffaelli por todas conversas e ajuda na organização da tese.

As estudantes de mestrado Sammya Dias e Marcela Pompeu, pela ajuda na identificação dos primeiros microfósseis.

A todos os meus amigos do Grupo de Sedimentologia da UFPA (GSED), Ms. Alexandre Ribeiro, Ms. Alexandre Castelo, Prof. Dr Luiz Saturnino, Prof. Dr. Francisco Abrante, Dr. Hudson, Dr. Pedro, Dr. Isaac Salém, Ms. Jhon Afonso, Prof.^a Dr. Kamilla, Prof. Dr. Cleber, Ms. Walmir, cujas conversas do dia-a-dia tornaram a jornada do doutorado mais fácil.

Aos meus amigos Ms. Lucas Cunha (Chelsea) e Ms. Raphael Neto, que além da grande amizade, foram importantes no processo de formatação da tese, enquanto estive em Manaus.

Aos amigos que fiz durante o tortuoso caminho para a obtenção da nota do toelf Claudionor, Lana, Ingrid, Edian, Juliana, Thayane, Luiz Saturnino.

Aos amigos que fiz durante o intercambio, Dr. Wey Wey, Dr.^a. Wang Ping e Dr.^a. Larissa, que tornaram meus dias mais agradáveis.

Aos meus amigos de graduação, Mauricio Jorge, Bruna Nogueira, Paulo Roberto, Aldemir Sotéro, Juvenal Juarez, Camila, Carlos Alberto, Luisa Dias, Tiago Mascarenhas, Luiz Fernando. Obrigado pela amizade, e pelo constante apoio durante esses quatro anos.

“Apagaram a força do fogo,
escaparam do fio da espada,
da fraqueza tiraram forças,
na batalha se esforçaram,
puseram em fuga
os exércitos dos
estranhos”
(Hb 11.34)

RESUMO

O final da Era Paleozoica foi marcado por movimentações tectônicas das massas de terra que estavam reunidas formando o supercontinente Gondwana, que se estendia principalmente no hemisfério sul, circundado pelos oceanos Pantalassa a oeste e Tetis a leste. Durante o período Carbonífero ocorreram diversos ciclos de variações climáticas na história da terra, evidenciados em depósitos glaciogênicos de *icehouse* e carbonáticos de *greenhouse*, tanto no paleocontinente Gondwana quanto na Laurásia. Estes ciclos globais de variação eustática foram registrados nos mares epicontinentais, pois representam a fase de descongelamento e aumento do nível eustático, em um período de *greenhouse*, que juntamente com uma paleogeografia favorável formam extensas transgressões marinhas sobre os blocos continentais, com padrões de empilhamento cíclicos, denominados de ciclotemas (e.g. terrestre; misto terrestre-marinho; marinho e marinho restrito / padrão evaporítico). Os registros desses eventos no norte do Brasil são encontrados nas bacias intracratônicas, particularmente no Grupo Balsas da Bacia do Parnaíba, onde as exposições permitem avaliar a história sedimentar do Pensilvaniano. A sucessão sedimentar estudada pertence ao Membro Superior da Formação Piauí, descrita entre os Municípios de José de Freitas, União, Miguel Alves e Lagoa Alegre, e exhibe depósitos carbonáticos ricamente fossilíferos sobrepostos por espessos pacotes pelíticos e clinofomas progradantes. Dezesete fácies sedimentares foram agrupadas em quatro associações de fácies (AF), representativas de um sistema de plataforma carbonática rasa, adjacente a um campo de dunas costeiras, posteriormente substituídos por depósitos lacustre-deltaico. A AF1- campo de dunas costeiro/interdunas, compreende arenitos finos a médios, bem selecionados, intensamente bioturbados, com estratificações plano-paralela e cruzada tabular e laminação cruzada cavalgante subcrítica transladante. A AF2-depósitos de mar raso, consiste em uma sucessão de rochas carbonáticas peloidais, fossilíferas, lateralmente contínua por centenas de metros, intercalada com folhelho betuminoso. Estes carbonatos foram dolomitizados e apresentam valores negativos de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ covariáveis com os valores positivos de $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$, sugerindo que o volume de fluido supersaturado foi suficiente para alterar não apenas $\delta^{18}\text{O}$, mas também o $\delta^{13}\text{C}$. A AF3-lobos de suspensão / barra de desembocadura e AF4-prodelta lacustre, consiste respectivamente, de arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e plano-paralela e pelitos e arenitos finos intercalados. As espessas camadas pelíticas de prodelta em contato com a AF2, apresentam grãos de quartzo com morfologia textural de sedimentos de proveniência eólica, com texturas do tipo: bordas bulbosas e lisas, placas soerguidas/deslocadas (*upturned plates*), depressões irregulares e marcas de percussão em V. Superfícies de exposição subaérea

nos carbonatos marcada por gretas de contração e feições de dissolução, indicam o final da sedimentação carbonática (e.g. Sequência marinha – Trato de Sistema de Mar Alto) com o recuo e confinamento do mar Pensilvaniano em um extenso sistema lacustre (e.g. Sequência continental – Trato de Sistema de Alta Acomodação) na porção central do Gondwana. A assembleia de argilo minerais da AF4 confirma o padrão climático de maior aridez para o topo da sucessão estudada, apresentando principalmente esmectitas e illita. Esta retração marinha foi concomitante com a orogenia Apalachiana (300 Ma) que causou o soerguimento no Gondwana ocidental e desconectou definitivamente o mar epicontinental Itaituba-Piauí com o oceano Pantalassa a oeste. Os mares restritos ou lagos foram progressivamente assoreados por fluxos hipopicnais progradantes com o estabelecimento das condições de aridez mais extremas deflagradas durante o Pensilvaniano.

Palavras-chave: Pensilvaniano. Mar epicontinental Itaituba-Piauí. Paleoclima. Ciclotema.

ABSTRACT

The end of the Paleozoic Age was marked by landmasses tectonic movements that were forming the supercontinent Gondwana, which stretched mainly in the southern hemisphere, surrounded by the Panthalassa oceans to the west and Tetis to the east. During the Carboniferous period, there were several cycles of climatic variations in the earth's history, evidenced in glaciogenic icehouse and greenhouse carbonate deposits, both in the paleocontinent Gondwana and in Laurasia. These global cycles of eustatic variation were recorded in the epicontinental seas, as they represent the thawing phase and eustatic level increase in a greenhouse period, which together with a favorable paleogeography form extensive marine transgressions over the continental blocks, with cyclic stacking patterns, called cyclothems (eg., terrestrial; terrestrial-marine mixed; marine and restricted marine / evaporitic pattern). Records of these events in northern Brazil are found in the intracratonic basins, particularly in the Balsas Group of Parnaíba Basin, where the exhibits allow us to assess the Pennsylvanian sedimentary history. The sedimentary succession studied belongs to the Piauí Formation Upper Member, described among the cities of José de Freitas, União, Miguel Alves and Lagoa Alegre, and exhibits richly fossiliferous carbonate deposits overlapped by thick pelitic packages and progradant clinoforms. Seventeen sedimentary facies were grouped into four facies associations (FA), representative of a shallow carbonate platform, adjacent to a coastal dune field, later replaced by lacustrine-delta deposits. The FA 1- coastal dune field/interdune comprises well selected, intensely bioturbated, fine to medium sandstones with plane-parallel stratification, tabular cross-bedding and climbing translantent lamination. The shallow-sea deposits FA 2 consists of a succession of fossiliferous carbonate rocks, laterally continuous for hundreds of meters, interspersed with bituminous shale. These carbonates were dolomitized and have negative $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ values covariate with positive values of $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$, suggesting that the supersaturated fluid volume was sufficient to change not only $\delta^{18}\text{O}$ but also $\delta^{13}\text{C}$. The FA 3- suspension lobes/mouth bar and FA 4- lacustre prodelta consist respectively of sigmoidal cross-stratification and plane-parallel stratification sandstones and intercalated fine sandstones and pelites. The thick pelitic layers of prodelta in contact with FA 2 feature quartz grains with morphology texture of wind-origin sediments, with textures such as bulbous and smooth edges, upturned plates, irregular depressions, and percussion marks. Subarea exposure surfaces in carbonate marked by shrinkage cracks and dissolution features indicate the end of carbonate sedimentation (eg., Marine Sequence - Highstand System Tract) with the Pennsylvanian Sea Retreat and Confinement in an extensive lacustrine system. (eg., Continental Sequence - High

Accommodation System Tract) in the central portion of Gondwana. The FA 4 mineral clay assembly confirms the aridest climatic pattern to the top of the studied succession, presenting mainly smectites and illite. This marine retraction was concomitant with the Appalachian orogeny (300 Ma) that caused the uplift in western Gondwana and definitively disconnected the Itaituba-Piauí epeiric sea from the Panthalassa ocean to the west. Restricted seas or lakes were progressively beset by prograding hypopycnal flows with the establishment of the most extreme arid conditions triggered during Pennsylvanian.

Keywords: Pennsylvanian. Itaituba-Piauí Epeiric Sea. Paleoclimate. Cyclothem.



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 RENATO SOL PAIVA DE MEDEIROS

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **RENATO SOL PAIVA DE MEDEIROS** orientando do Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA), composta pelos professores doutores Ana Maria Góes (USP), Guilherme Raffaeli Romero (USP), Werner Truckenbrodt (UFPA) e Joelson Lima Soares (UFPA), após apresentação da sua tese intitulada “**O PENNSILVANIANO DA BACIA DO PARNAÍBA, NORTE DO BRASIL: IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS, PALEOGEOGRÁFICAS E EVOLUTIVAS PARA O GONDWANA OCIDENTAL**”, emite o seguinte parecer:

O candidato realizou sua apresentação de forma clara, bem organizada e segura no tempo estipulado. Na arguição mostrou domínio da temática abordada e respondeu às perguntas formuladas pela banca. O trabalho escrito foi apresentado na forma de três manuscritos, sendo dois manuscritos internacionais (um publicado e um aceito), e um manuscrito em português, atendendo as exigências básicas para uma tese de doutorado.

Pelo exposto, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar com distinção a tese de doutorado.

Belém, 21 de fevereiro de 2020.

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

Prof.^a Dr.^a Ana Maria Góes (USP)

Prof. Dr. Guilherme Raffaeli Romero (USP)

Prof. Dr. Werner Truckenbrodt (UFPA)

Prof. Dr. Joelson Lima Soares (UFPA)