



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 546

**ESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTE DA FORMAÇÃO
PASTOS BONS, JURÁSSICO-CRETÁCEO DA BACIA DO
PARNAÍBA**

Dissertação apresentada por:

ALEXANDRE RIBEIRO CARDOSO

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

**BELÉM
2019**

Dados Internacionais de Catalogação e Publicação (CIP)

Biblioteca do Instituto de Geociências

Cardoso, Alexandre Ribeiro 1994-

Estratigrafia e paleoambiente da Formação Pastos Bons, Jurássico-Cretáceo da Bacia do Parnaíba. – 2019.

xv, 93: il ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2019.

1. Paleoambiente. – 2. Sistema lacustre. – 3. Formação Pastos Bons. – 4. Jurássico-Cretáceo. I. Título.

CDD 22 ed.: 552.509813



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

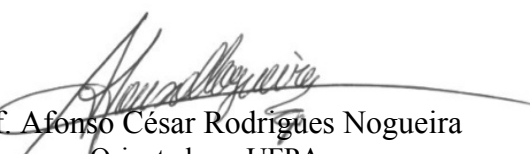
**ESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTE DA FORMAÇÃO
PASTOS BONS, JURÁSSICO-CRETÁCEO DA BACIA DO
PARNAÍBA**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:
ALEXANDRE RIBEIRO CARDOSO**

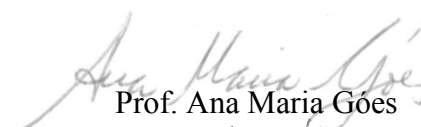
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA**

Data de Aprovação: 06 / 03 / 2019

Banca Examinadora:


Prof. Afonso César Rodrigues Nogueira
Orientador – UFPA


Prof. Joelson Lima Soares
Membro – UFPA


Prof. Ana Maria Góes
Membro - USP

Aos meus pais,
minhas forças motrizes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Cintia Ribeiro e Azarias Cardoso, pelo apoio, investimentos e ensinamentos. Obrigado por me abrirem o mundo, por me incentivarem em todas as horas, por serem meus exemplos de pessoas e por entenderem a minha ausência em muitos momentos.

Ao meu irmão, Alessandro Cardoso, e aos meus avós, Ruth e Virgílio Cardoso; José Ribeiro e Amparo Rufino; a minha avó de coração – Vó Pastora (*in memorian*), pelo carinho e palavras de confiança.

Ao Prof. Dr. Afonso Nogueira, pela amizade, pelas oportunidades, por me inserir na ciência e pelas infundáveis e divertidas discussões geológicas.

Aos Profs. Drs. Joelson Soares e José Bandeira, pelas sugestões e solicitude sempre que preciso.

Ao CNPq, PPGG e à Universidade Federal do Pará, pelo suporte financeiro e estrutural durante o desenvolvimento desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Aos amigos do GSED, Cleber Rabelo, Guilherme Raffaeli, Pedro Augusto, Walmir Lima, Isabella Miranda, Hudson Santos, Renato Sol, Luiz Saturnino, Roberto Araújo, Raphael Araújo, Isaac Salém, Taynara Martins, Mateus Xavier, Eduardo Santos, Fernando Andrade, Raíza Renné, Lucas Chelsea, Renan Fernandes, Alexandre Castelo e Gabriel Leal. Obrigado pelas risadas, desabafos, pelos infinitos copos de café e por sempre estarem disponíveis a tirar dúvidas, ajudar com textos, imagens e processos laboratoriais. Obrigado pela oportunidade de aprender diariamente com vocês, por me inspirarem com seu esforço e brilhantismo, por me ajudarem a sempre procurar o meu melhor, por serem exemplos de pesquisadores e pessoas.

Em especial, agradeço ao Cleber Rabelo (braço direito) pela parceira em etapas de campo, produções textuais e elaboração de imagens. Ao Guilherme Raffaeli (oráculo do GSED), pelos inúmeros conselhos, pelo apoio durante a geoquímica e análise de fósseis, por me incentivar a pensar “fora da caixa” e por elevar o nível deste trabalho. Ao Walmir Lima pela tentativa trabalhosa (e infelizmente infrutífera) de achar palinórfos. À Raíza Renné, pelo auxílio na aquisição das imagens de catodoluminescência.

Agradeço aos técnicos Everaldo Cunha (Laboratório de Sedimentologia); Joelma Soares (Laboratório de Laminação); à Prof. Dra. Simone Paz, ao técnico Aldemir Sotero e ao bolsista Wesley Achilles (Laboratório de Difração de Raios-X).

Aos Profs. Drs. Michel Sauma (UFRA) e Francisco Abrantes (UNICAMP) pela amizade, apoio e incentivo.

Aos amigos de graduação, por tornarem esta caminhada mais fácil. Em especial, agradeço Williamy Felix, Danilo Cruz, Daniela Soares, Ivinny Barros, Paulo Ronny, Vitor Centeno, Layse Hollanda, Paulo Faro, Malu Ferreira, Enzo Venturieri e João Paulo. Aos amigos de fora da geologia, Lana Castro, Brenda Moreira, Fernanda Fonseca, Bruna Adriele, Marcelo Assunção, Alexandre Dias e Evelyn Melo.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me auxiliaram a iniciar e concluir este trabalho, cujos nomes não caberiam em poucas páginas.

“Corre, desenha, enfeita a imagem,
A ideia veste,
Cinge-lhe ao corpo a ampla roupagem,
Azul-celeste.
Torce, aprimora, alteia, lima
A frase; e, enfim,
No verso de ouro engasta a rima,
Como um rubim.
(...)
E horas sem conto passo, mudo,
O olhar atento,
A trabalhar, longe de tudo,
O pensamento.
Porque o escrever – tanta perícia,
Tanta requer,
Que ofício tal... Nem há notícia
De outro qualquer.”

Olavo Bilac – Profissão de Fé

RESUMO

A transição Jurássico-Cretáceo foi marcada pela fragmentação do supercontinente Gondwana Oeste e consequente abertura do Oceano Atlântico. Os estágios pré-ruptura foram caracterizados por soerguimentos epirogênicos associados a acumulações volumosas de magma na infracrosta. Adicionalmente, derrames vulcânicos expressivos ocorreram na porção central do Gondwana Oeste, compondo a *Central Atlantic Magmatic Province* (CAMP). Um estágio de subsidência térmica pós-CAMP permitiu a instalação de extensos lagos coincidentes com depocentros da Bacia do Parnaíba, registrado em camadas jurássico-cretáceas da Formação Pastos Bons (FPB). A FPB é constituída, predominantemente, por espessos folhelhos avermelhados intercalados a arenitos tabulares. A porção basal é constituída por folhelhos pretos fossilíferos, denominados de Folhelho Muzinho. Devido a exposições descontínuas e deslocamentos por falhas, a estratigrafia do Mesozoico da Bacia do Parnaíba permanece pouco compreendida e existe a necessidade de trabalhos faciológicos e estratigráficos de detalhe. Neste sentido, esta pesquisa realizou uma releitura destes depósitos para elucidar o paleoambiente e as implicações paleogeográficas da FPB no contexto do supercontinente Gondwana, com base na análise de fácies e cicloestratigrafia. A proveniência desta sucessão foi investigada a partir de diagramas de composição de arenitos, catodoluminescência de quartzo e análise de minerais pesados. As camadas intituladas Folhelho Muzinho foram avaliadas através de petrografia, DRX e MEV/EDS. A FPB é composta por cinco associações de fácies, interpretadas como lacustre central (AF1), *sheet-like delta front* (AF2), lacustre marginal (AF3) e canais fluviais efêmeros (AF4). A AF1 é composta por ciclos de ressecamento/raseamento ascendente, definidos por folhelhos pretos milimetricamente intercalados a carbonatos, que gradam para folhelhos avermelhados alternados a arenitos estratificados/laminados. Os folhelhos são compostos por quartzo, illita, esmectita e calcita. Os níveis fossilíferos incluem macroformas jovens e adultas no mesmo horizonte, encapsuladas por lâminas crenuladas de Fe-esmectitas, ricas em matéria orgânica. A AF1 indica sedimentação no centro de lagos estratificados, em condições eutróficas e anóxicas. Eventos de mortandade em massa foram induzidos, provavelmente, pela contaminação da coluna d'água devido à liberação de H₂S por cianobactérias. A transição para pelitos e arenitos espessos reflete a evolução de lagos *underfilled* para *overfilled*, conforme houve o aumento no aporte de sedimentos e água. A AF2 é composta por arenitos tabulares em ciclos de espessamento ascendente, que registram desconfinamento do fluxo e preenchimento progressivo do lago, com consequente retrabalhamento do topo das camadas

por ação de ondas. A AF3 é constituída por ciclos de raseamento ascendente, demarcados por marcas onduladas, estruturas de adesão ou gretas de contração. A AF4 é definida por ciclos granodecrescentes ascendentes desenvolvidos por canais fluviais efêmeros, com conglomerados e arenitos que gradam para pelitos. Esta sucessão define lagos abertos e estratificados, dominados por processos de decantação e fluxos desconfinados, em regime hiperpicnal. O arcabouço estratigráfico da FPB é composto por quatro ciclos deposicionais, constituídos por ciclos centimétricos a métricos, limitados por superfícies de inundação. Estes ciclos definem um padrão retrogradacional-progradacional-retrogradacional, com aumento ascendente do espaço de acomodação condicionado por pulsos da subsidência térmica pós-CAMP e variações no suprimento sedimentar. A sucessão mesozoica sugere migração do Gondwana Oeste para zonas equatoriais no Jurássico-Cretáceo, com atenuação da aridez em relação ao Permiano-Triássico. Os arenitos da FPB indicam proveniência de orógenos reciclados e interior cratônico, enquanto que dados de catodoluminescência indicam fonte vulcânica predominante. Para testar possíveis correlações com unidades adjacentes, verificou-se que a assembleia de minerais pesados da FPB é muito similar a de depósitos eólicos da Formação Corda, e ambas diferem dos depósitos fluviais da Formação Grajaú. Os índices ZTR, GZi e RZi são mais altos para os arenitos da FPB e da Formação Corda, e baixos para a Formação Grajaú. Os depósitos fluviais distinguem-se, sobretudo, por exibirem sillimanita e alto teor de hornblenda (>50%). Estes dados indicam minerais policíclicos e fontes mistas para os arenitos mesozoicos da Bacia do Parnaíba. O Grupo Mearim exhibe contribuição vulcânica suprida por basaltos do CAMP e fonte metapelítica de baixo a médio grau metamórfico. Esta última, possivelmente, é representada por rochas neoproterozoicas do Domínio Médio Coreau, Província Borborema. Diferentemente, a Formação Grajaú foi suprida por granitos brasileiros tipo-I. Esta evolução geológica indica mudança de proveniência ou exumação de áreas fontes em comum durante o Mesozoico da Bacia do Parnaíba.

Palavras-Chave: Estratigrafia; Proveniência; Subsidência Térmica; Paleoambiente; Lacustre.

ABSTRACT

The Jurassic-Cretaceous transition was marked by the fragmentation of the West Gondwana supercontinent and consequent opening of the Atlantic Ocean. The pre-rupture stages were characterized by epeirogenic uplifts associated with voluminous magmatic accumulation in the infracrust. Additionally, expressive volcanic flows occurred in the central portion of the West Gondwana, composing the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP). A post-CAMP thermal subsidence stage allowed the installation of massive lakes coincidentally with the depocenters of the Parnaíba Basin, which is recorded in the Jurassic-Cretaceous Pastos Bons Formation (PBF). The PBF is a predominantly constituted of thick reddish mudstones interbedded to tabular sandstones. The basal portion is composed of fossiliferous black shales, the Muzinho Shale. Due to discontinuous exposures and fault displacements, the stratigraphy of the Mesozoic of the Parnaíba Basin keeps poorly understood and there is a necessity for more detailed faciological and sedimentological studies. In this sense, this research performed a sedimentological lecture of these deposits in order to elucidate the paleoenvironment and Paleogeography of the PBF in the context of the West Gondwana, through outcrop-based facies analysis and cyclostratigraphy. The provenance of this succession was investigated through compositional sandstones diagram, quartz hot cathodoluminescence and heavy minerals analyses. The Muzinho Shale beds were evaluated through petrography, XRD and SEM/EDS. The PBF is composed of four facies associations, interpreted as central lake (FA1), sheet-like delta front (FA2), lakeshore (FA3) and ephemeral fluvial channels (FA4). FA1 is composed of drying/shallowing upward cycles, defined by millimeter-scale black shales interlayered with limestones, that grade to reddish shales and laminated/stratified sandstones. Shales are composed by quartz, illite, smectite and calcite. The fossiliferous levels include young and adult macroforms in the same horizon, sandwiched by crinkly laminations with organic rich Fe-smectites. FA1 indicate sedimentation in the center of the lakes, in eutrophic and anoxic conditions. Mass mortality events were probably induced by contamination of the water column due to H₂S release by cyanobacteria. The transition to mudstones and sandstones reflects the evolution of underfilled to overfilled lakes, as the sediment and water supply were increased. FA2 is composed of tabular sandstones in thickening upward cycles, which record unconfined flows and progressive lake filling, with consequent reworking of the top of the beds by wave action. FA3 is constituted of shallowing upward cycles, marked by wave marks, adhesion structures or mud cracks. FA4 is defined by fining upward cycles developed by ephemeral fluvial channels, with conglomerates and

sandstones grading to mudstones. This succession defines open and stratified lakes, dominated by settling and unconfined flows, in hyperpycnal regime. The stratigraphic framework of the PBF is composed of four depositional cycles, constituted of centimeter to millimeter-scale cycles, bounded by flooding surfaces and unconformities. These cycles define a retrogradational-progradational-retrogradational stacking pattern, with increasing accommodation space upward conditioned by post-CAMP thermal subsidence pulses and variations in sediment supply. The Mesozoic succession suggests migration of the West Gondwana toward Equatorial regions during Jurassic-Cretaceous, with aridity attenuation relatively to the Permian-Triassic. The sandstones of the PBF indicate provenance from recycled orogens and craton interior, whereas cathodoluminescence data indicate predominantly volcanic sources. In order to test possible correlations with adjacent units, we verified the heavy minerals assemblage of the PBF is very similar to the Corda Formation, and both differ from the fluvial deposits of the Grajaú Formation. The ZTR, GZi and RZi indexes are higher for sandstones of the PBF and Corda Formation, and lower for the Grajaú Formation. The fluvial deposits distinguish mainly by sillimanite and high hornblende content (>50%). These data indicate polycyclic minerals and mixed sources for sandstones of the Parnaíba Basin. The Mearim Group exhibits volcanic contribution supplied by CAMP basalts and low to medium grade metapelitic sources. This last was possibly supplied by Neoproterozoic rocks of the Médio Coreau Domain, Borborema Province. Differently, the Grajaú Formation was supplied by type-I Brazilian granites. This geological evolution indicates change in provenance areas or exhumation of common source areas during the Mesozoic of the Parnaíba Basin.

Keywords: Stratigraphy; Provenance; Thermal Subsidence; Paleoenvironment; Lake.